



Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques

Laboratoire Géoressources, Unité de recherche Associée CNRST (URAC 42).

LICENCE-ES SCIENCES ET TECHNIQUES

« Eau & Environnement »

**ANNALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU CANAL
T2 CONCERNANT LA RECONVERSION DU SYSTEME
D'IRRIGATION DE SECTEUR RIVE DROITE DE
TESSAOUT AVAL**

Elaboré par :

Mohcine MOUTAHHIR

Abdessamad HIQUI

Encadrés par :

Mr.A.TOUIL (FSTG MARRAKECH)

Mr.F.SGHUIR (ORMVAH)

Soutenu le 24/06/2013 devant la commission d'examen composée de :

Pr.A.KCHIKACH (FSTG MARRAKECH)

Pr.A.TOUIL (FSTG MARRAKECH)

Dédicace

A nous très chers parents

En témoignage de profond amour, de grande reconnaissance et pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mon bonheur.

A nous enseignants.

A nous chers (es) amis (es) et collègues

A toute personne qui m'aime, et qui contribuera à ma joie familiale et mon bonheur professionnel.

Remerciements

Au terme de ce travail, il m'est agréable de m'adresser à toute personne qui a participé de près et de loin à son élaboration. Je remercie Mr. Touil Ahmed, Professeur à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre, qui a dirigé ce travail, tout en me prodiguant de nombreux conseils et nous faisant profiter de sa large expérience. Je lui en suis très reconnaissant.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à Monsieur le directeur de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz qui m'a ouvert les portes de son service.

Mes vifs remerciements s'adressent à Mr. Sghir Fathallah, Ingénieur à l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAh), pour son encadrement exemplaire, sa compréhension et son humanité.

J'exprime mes gratitudes à Mr Morino Abdessamad, Ingénieur au laboratoire de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAh) qui, malgré ses occupations, m'a bénéficié de son expérience, son aide, ses conseils et critiques judicieux.

Mes remerciements vont au jury, Professeurs à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre. Merci d'avoir accepté de juger ce travail. Je n'oublie pas aussi mes amis (es) pour leur soutien et leurs différents conseils qui m'ont encouragé parfaitement pour atteindre mes objectifs.

A tous Merci

Liste des tableaux:

<i>Tab1 : occupation des sols du secteur RD.....</i>	<i>17</i>
<i>Tab.2 : La différence entre la conversion individuelle et collective de système d'irrigation du gravitaire au localisé.....</i>	<i>19</i>
<i>Tab3 : les besoins en crédit d'ORMVA.....</i>	<i>21</i>
<i>Tab 4: bilan ionique des cations.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab 5: bilan ionique des cations.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab 6: classification du SAR.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab 7: l'indice de saturation de certains minéraux.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab 8: les normes des eaux destinées à l'irrigation.....</i>	<i>38</i>
<i>Tab9 : quantité d'eau, utilisées par des méthodes différentes.....</i>	<i>42</i>

Liste des figures:

<u><i>Fig.1 : zone d'action de l'ORMVAH.....</i></u>	<u><i>13</i></u>
<u><i>Fig2 : Départ de A1 prise de canal T2 au poste 73.....</i></u>	<u><i>14</i></u>
<u><i>Fig 3 : carte de situation du secteur rive droite S1 3.....</i></u>	<u><i>15</i></u>
<u><i>Fig 4 : l'évolution du système d'irrigation selon le PNEEI.....</i></u>	<u><i>21</i></u>
<u><i>Fig.5 : Evolution des besoins en crédits des aménagements du PNEEI</i></u>	<u><i>21</i></u>
<u><i>Fig.6 : tracé canal du canal T2</i></u>	<u><i>26</i></u>
<u><i>Fig.7: Diagramme de piper : détermination des facies chimique</i></u>	<u><i>35</i></u>
<u><i>Fig.8 : Diagramme de Scholler Berkaloff : l'évolution des différents paramètres chimiques.....</i></u>	<u><i>36</i></u>
<u><i>Fig.9 : figuer :le fonctionnement du turbidimètre</i></u>	<u><i>39</i></u>
<u><i>Fig10:fonctionnement de filtre a tamis et leurs lavage</i></u>	<u><i>57</i></u>
<u><i>Fig11 : fonctionnement de filtre a tamis et leur lavage.</i></u>	<u><i>58</i></u>
<u><i>Fig12: Filtre tambour au cours de construction et mode de fonctionnement</i></u>	
<u><i>Fig13 : le fonctionnement de filtres à disque</i></u>	<u><i>60</i></u>
<u><i>Fig14 : les caractéristiques des filtres par type de filtration.....</i></u>	<u><i>62</i></u>

Liste d'abréviation :

ORMVAH : Office régional de mise en valeur agricole d'al haouz .

ORMVAT : Office régional de mise en valeur agricole de tadlla.

RD : Rive droite.

ONE : Office national d'électricité.

PNEEI : Programme national d'économie d'eau en irrigation.

SAR : Taux d'absorption du Sodium.

C.M.V : Centre de mise en valeur.

PS : Postes secondaires.

PC : Postes centraux.

UTN : Turbidité néphalométriques .

OMS : Organisation mondial de la santé.

SI : saturation indice.

Sommaire

Introduction.....	9
Premier chapitre : Démarche générale et méthodologie du travail.....	10
A. Problématique et objectif de l'étude	10
B. Cadre institutionnel	10
C. Déroulement pratique du stage	13
Deuxième chapitre : Contexte de l'étude.....	15
A. Présentation de la zone d'étude : le périmètre de la rive droite (RD).....	15
1- Localisation géographique	16
2- Mise en valeur.....	17
3- Description du réseau Aménagement.....	18
B. Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation.....	18
1- Raison d'être.....	18
2- Objectifs et priorités.....	18
3- Consistances du programme.....	18
4- Modalité de mise en œuvre.....	20
5- Risques du programme.....	21
6- Besoin et crédit	21
Troisième chapitre : Structure du réseau d'irrigation.....	23
A. Le réseau d'irrigation de canal T2.....	24
1- Description du Canal de T2 :.....	24
a) Origine de canal T2	24
b) Fichier synoptique du canal T2 :	24
B. Systèmes hydraulique de régulation :.....	27
1- Régulation par l'amont.....	27
2- Régulation par l'aval.....	27
3- Régulation mixte.....	27
4- du canal T2 : système associant divers modes de régulation.....	28
C. la télégestion des réseaux :.....	28
1- généralité :.....	28
2- Eléments constitutifs d'un réseau télé géré :.....	28
Quatrième chapitre : Cadre hydrochimie des eaux du canal T2	29

A. Introduction	29
B. Méthodologie :	29
C. Mode opératoire	29
D. Résultats et interprétations.....	32
a) Le PH.....	32
b) La conductivité électrique.....	32
c) Les éléments majeurs.....	33
E. Classification des eaux.....	35
a) Faciès chimiques.....	35
b) Taux d'absorption du Sodium (SAR).....	37
c) Indice de saturation	37
Cinquième chapitre : Qualité des eaux d'irrigation :.....	40
A. Les Normes de qualité des eaux d'irrigation.....	40
1. Caractéristiques physiques.....	41
2. caractéristiques physico-chimiques pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation.....	42
B. La Turbidité de l'eau d'irrigation.....	43
1. Définition.....	44
2. Méthodes de mesure	45
CONCLUSION GENERAL	48

Introduction

L'agriculture est réellement au centre des préoccupations de développement durable et de sécurité alimentaire.

En plus l'agriculture est un moteur de croissance économique et un outil efficace de lutte contre la pauvreté rurale ; tel est l'objectif de la nouvelle stratégie Plan Maroc Vert.

Le Maroc est un pays où l'agriculture est un secteur clé. Il emploie 40 % de la population active et produit 15 % de la richesse nationale. Sous un climat marqué par l'aridité, cette activité est très dépendante de la pluviométrie annuelle.

Dès l'indépendance (1956), l'Etat marocain a entrepris une politique ambitieuse de création de périmètres irrigués alimentés par de grands barrages. Dans la plaine du Haouz, autour de la ville de Marrakech, il a été créé trois grands périmètres irrigués : la Tessaout aval, la Tessaout amont et le Haouz Central.

Le diagnostic de qualité de l'eau d'irrigation s'inscrit dans les projets d'études de cet office (Office régional de mise en valeur agricole d'al haouz). A cet effet, nous avons décidé d'entreprendre une étude qui portera sur l'impact de la qualité des eaux du canal T2 sur le projet de reconversion du système d'irrigation du secteur rive droite de Tassaout aval. Ce projet consiste à changer les techniques d'irrigation jusqu'à présent utilisées et qui souffraient du problème de la consommation excessive de l'eau, vers des techniques plus économiques en matière de l'eau d'irrigation. En effet, la ressource en eau tend vers une pénurie globale suite au développement démographique et aux changements climatiques.

En ce qui concerne la rationalisation de l'utilisation de l'eau d'irrigation. L'objectif de notre étude est de définir la qualité des eaux du canal T2 en plus des processus de traitement adéquat au eaux brute des canaux alimentant les réseaux d'irrigation des secteurs précité ainsi le dimensionnement des ouvrages retenus.

Premier chapitre : Démarche générale et méthodologie du travail

A. *Problématique et objectif de l'étude*

L'objectif de notre étude est de définir les processus de traitement adéquat des eaux brutes des canaux alimentant les réseaux d'irrigation du secteur Rive droite de Tessaout aval .Cette dernière qui était au paravent irrigué a partir des zones de séguias issues de l'oued Tessaout a été modernisé à partir des années 1990, les aménagements entre pris à l'époque par l'OFFICE DE LHAOUZ constituent en aménagement du canal T2 d'une longueur 93Km qui a chemine un volume annuel normal de 235 million m³ à partir du barrage de Bin Ouidane –Aforare vers le périmètre de Tessaout aval ,le remplacement des séguiat traditionnelles en terre par des canaux trapézoïdaux et semi circulaire qui à cheminent l'eau via des prise vers les mesref existant.

L'irrigation à la parcelle est restée sans modification, ce qui entraînait des pertes excessives. et c'est dans le cadre du programme national canal d'économie d'eau d'irrigation (PNEEI) que l'office envisage de reconvertir le système réalimenter amélioré en un système moderne sous pression permettant une irrigation à la par celle plus efficace et économie eau (goutte à goutte)

B. cadre institutionnel de l'ORMVAH :

Un établissement public de développement agricole de la plaine du Haouz

Créé par le décret royal n° 831-66 du 22 Octobre 1966, l'ORMVAH est un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime.

• MISSIONS:

- * Réalisation des études et exécution des équipements hydro-agricoles et de mise en valeur agricole.
- * Gestion des équipements hydro agricoles et des ressources en eau à usage agricole.
- * Vulgarisation des techniques culturales et formation professionnelle.
- * Développement de la production végétale et animale.
- * Promotion de l'agro-industrie.

- STRUCTURES DE L'ORMVAH :

Au niveau du siège:	Au niveau du terrain:
* Service des équipements hydro agricoles (SEHA).	* 2 Coordinations (Haouz Central et Tassaout).
* Service de la gestion du réseau d'irrigation et de drainage (SGRID).	* 21 Centres et sous centres de mise en valeur agricole.
* Service de la production agricole (SPA).	* 3 Subdivisions agricoles.
* Service de l'élevage (SE).	* 3 Subdivisions de gestion du réseau d'irrigation.
* Service de la vulgarisation et de l'organisation professionnelle (SVOP).	* 2 centres de gestion et télécontrôle du canal de Rocate et du canal T2
* Service de la programmation et de la planification (SPP).	* 4 secteurs de développement de l'élevage.
* Service administratif et financier (SAF).	* 1 Centre des techniques d'irrigation.
* Service du matériel (SM).	
* Cellule d'audit interne	

- ZONE D'ACTION DE L'ORMVA DU HAOUZ

La zone d'action de l'ORMVAH est limitée à l'Est par l'oued Labid, à l'Ouest par le N'fis, au Sud par le piémont du Haut Atlas et au Nord par les oueds Tensift et Oum Rabiaa.

Elle s'étend sur une superficie de 663 000 Ha (dont 473 000 Ha de superficie agricole utile), répartie comme suit :

- La préfecture de Marrakech - Ménara (12 communes rurales) : 134 000 ha
- La province d'Al Haouz (11 communes rurales) : 143 000 ha
- La province d'El Kelaa des Sraghnas (42 communes rurales) : 342 875 ha
- La province de Rhamna (4 communes rurales) : 43 125 ha

Population totale : 1.735.000 habitants dont 745.500 ruraux

Climat : semi- aride avec une pluviométrie faible et irrégulière : 240mm/an

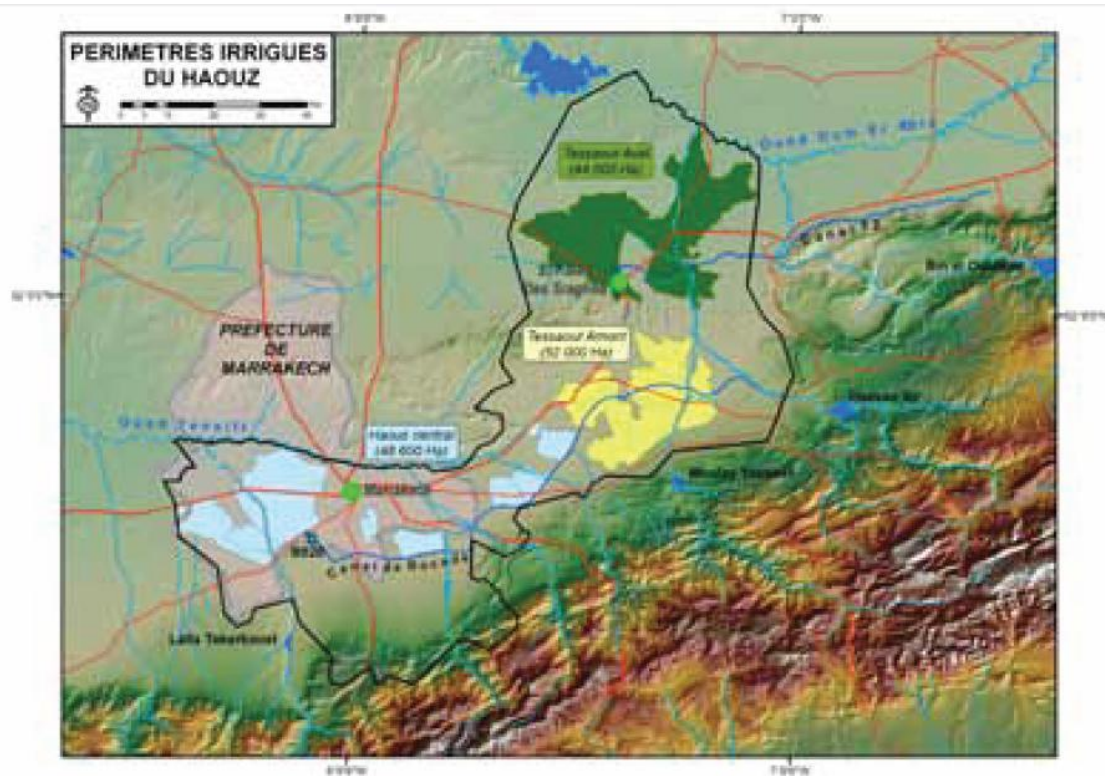


Fig.1 : zone d'action de l'ORMVAH

C. Déroulement pratique du stage

Pour la réalisation de ce travail, nous étions amenés à :

- faire une recherche bibliographique sur le contexte géologique, géographique.....etc. du secteur d'étude.
- faire une sortie sur le terrain à fin de voir les travaux de construction de la conduite d'adduction au PK 73 situé avant le siphon de l'oued Tessaout
- effectuer des prélèvements des échantillons à chaque point ou l'accès et possible
- analyser au laboratoire les échantillons collectés à fin de déterminer les paramètres physiques et le bilan ionique.



Fig.2 : Départ de A1 prise de canal T2 au PK 73.

Deuxième chapitre : Contexte de l'étude

A. Présentation de la zone d'étude : le périmètre de la rive droite (RD)

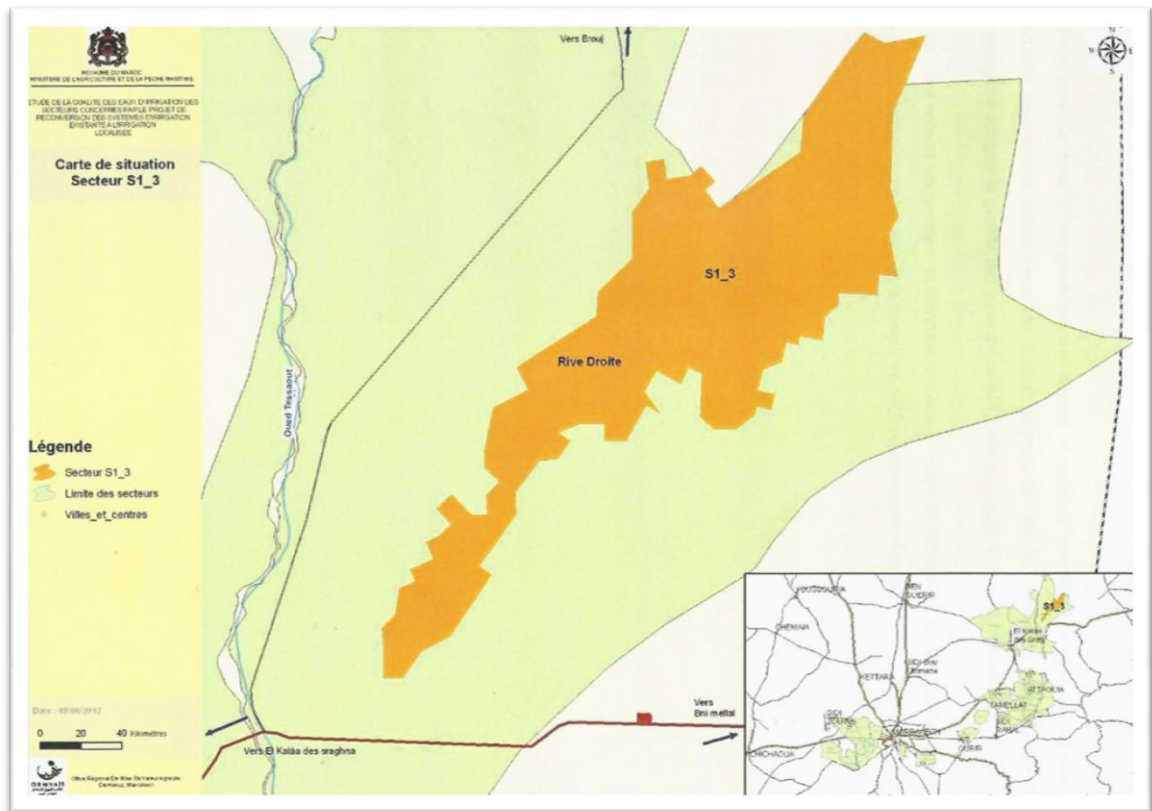


Fig.3: carte de situation du secteur rive droite S1 3.

Le secteur Rive Droite couvre une superficie de 4100 ha dans le périmètre de Tassaout aval. Cette zone est située à l'aval du canal T2 qui est alimenté par un transfert via le canal T2 de l'eau de l'oued El Abid régularisé à Bin El ouidane (235 millions de m³/an).

La superficie totale de la zone concernée par le projet de conversion des systèmes d'irrigation est de 6068 ha répartie comme suit :

- ✓ Zone à reconverter : 4100 ha
- ✓ Unité M1, M2, M3, et M4 situé en amont de la zone à reconverter : 1385 ha
- ✓ Unité M8, située en aval de la zone à reconverter : environ 583 ha

1. Localisation géographique du rive droite de oued Tessaout :

↪ Le cadre géologique :

La plaine du haouz est située entre la chaîne du Haut-Atlas et le massif des Jbilet. Le socle primaire a été arasé pendant le secondaire et déformé par les premiers mouvements atlasiques. Les mouvements tectoniques tertiaires ont

provoqué un fossé entre l'Atlas et les Jbilet par suite d'un jeu de fractures et de flexures. (Aahd ABOURIDA ; thèse A,2007 :APPROCHE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE DU HAOUZ (MAROC)PAR TELEDETECTION .ISOTOPIE ,SEGET MODELISATION)

Pendant la surrection de l'Atlas, à l'Oligo-Miocène et au Pliocène, les oueds ont accumulé les produits de démantèlement de la chaîne dans ce fossé, noyant les principales lignes architecturales. La composition des débris accumulés est déterminée par la constitution des montagnes d'où venaient les oueds. Ceux-ci ont étalé leurs alluvions par déplacement latéral de leurs cours dans une dépression peu profonde transformée en zone d'épandage. Les plissements atlasiques et les remblaiements successifs se sont terminés au Pliocène supérieur.

- Il s'est produit depuis une succession de cycles d'érosions fluviales. Les oueds atlasiques ont remanié les formations du Pliocène supérieur, les ont brassées avec de nouveaux apports. Au cours des périodes humides, ils ont, en se déplaçant, étalé à leur arrivée dans la plaine des galets et cailloutis pour former les cônes de déjections actuels alors qu'à l'aval, ils déposaient dans les marécages des limons roses .(Aahd ABOURIDA ; thèse A,2007 :APPROCHE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE DU HAOUZ (MAROC)PAR TELEDETECTION .ISOTOPIE ,SEGET MODELISATION)

↳ **Climatologie :**

Le climat du Haouz, chaud et sec, de type continental, est classé à la limite du semi-aride et de l'aride. Il est caractérisé par :

- des pluies faibles et variables avec une moyenne annuelle de l'ordre de 240 mm, pour 40 jours de pluie environ ;
- une température moyenne élevée, avec des écarts journaliers et mensuels importants, la moyenne des maxima (Juillet) est de 37 °C, la moyenne des minima (Janvier) est de 4°C ;
- une hygrométrie faible, la moyenne mensuelle varie de 40 % (Août) à 70 % (Janvier) ;
- une très forte évaporation, l'évaporation moyenne annuelle est d'environ 2 300 mm.

↳ **Hydrologie :**

Le réseau hydrographique comprend deux systèmes:

- Dans le système occidental, l'oued Tensift coule de l'est vers l'ouest. Dans la plaine du Haouz au pied des Jbilet, il reçoit comme un collecteur les oueds Nfis, Rhéraya et Ourika,

- Dans le système oriental, l'oued Tassaout et son affluent l'oued Lakhdar descendent du versant Nord de l'Atlas et quittent le Haouz par une trouée dans les Jbilet pour aller rejoindre l'Oued Oum Er Rbia.

Le système oriental est le plus important tant au point de vue de la superficie du bassin versant (4170 km² contre 3350 km²) que de l'apport moyen annuel (785 millions de m³ contre 654 millions de m³).

Les divers oueds ont un régime qui reflète l'irrégularité des pluies sur le bassin versant. Ils sont pérennes en montagne mais ne le sont plus dans la plaine (sauf pour l'oued Lakhdar). La plus grande partie des débits passe sous forme de crues provoquées par de fortes pluies. Les eaux d'étiage et une partie des eaux de crues alimentent des séguias servant à l'irrigation dans la plaine du Haouz. Une autre partie s'infiltré ou s'évapore. La plus grande partie des eaux de crues quitte le Haouz par l'oued Tensift ou par la trouée de l'oued Tassaout dans les Jbilet.

2. Mise en valeur de rive droite de oued Tessaout :

L'activité agricole dans le secteur d'étude comporte des céréales, du maïs et du maraichage d'automne sur une superficie globale de 3928 ha répartie comme illustré dans le tableau I.

Désignation	SAU (ha)	%
Céréales	1095	27,9
Maïs fourrager	910	23,2
maraichage d'automne	423	10,8
olivier	1500	38,2
Total	3928	100

Tab.1 : occupation des sols du secteur RD

3. Description du réseau :

Le schéma d'aménagement du projet du secteur d'étude sera basé sur la réalisation des équipements principaux suivants :

- ✓ Un ouvrage de prise sur le canal T2 ;
- ✓ Une conduite d'adduction ;
- ✓ Un réseau de filtration commune
- ✓ Des bornes d'irrigation en tête des blocs ;
- ✓ Des antennes de distribution à l'intérieur des blocs existants ;
- ✓ Des prises de propriétés individuelles ou collectives.

Le débit total en tête du secteur est estimé, selon l'étude d'actualisation de l'APS (avant projet sommaire :NOVEC) , à environ de 2,6 m³/s.

B. Programme National d'Economie d'Eau d'Irrigation (PNEEI) :

1. Raison d'être :

Produire plus, avec une meilleure qualité, en utilisant moins d'eau et de façon durable est le grand défi lancé à l'agriculture irriguée. Pour relever ce défi, de grands espoirs sont fondés sur les techniques et technologies d'économie et de valorisation de l'eau. Cependant, au-delà des choix techniques et technologiques pour déverrouiller le potentiel de la productivité, les facteurs déterminants sont le cadre incitatif, la technicité des hommes, l'accès aux moyens et méthodes modernes de production, l'articulation de la production à un réseau efficace de recherche-développement-fourniture de services à l'amont et d'information-conseil commercialisation à l'aval.

2. Objectifs et priorités :

Les priorités du PNEEI sont comme suit :

- Pour la collectivité nationale : Economie et valorisation de l'eau, rentabilisation des investissements publics réalisés et futurs pour assurer le développement durable du pays.
- Pour l'exploitation agricole : Amélioration des revenus, réduction des risques et rentabilité financière des investissements.

3. Consistances du programme :

Pour réaliser les objectifs qui lui sont assignés, le PNEEI portera sur la réalisation d'activités sur une période de quinze années. Ces activités ont été regroupées en quatre composantes :

Modernisations collectives: Il s'agit d'une modernisation et d'une adaptation du réseau d'irrigation (y compris les stations de pompage) pour le rendre compatible avec l'irrigation localisée

	conversion collectif de système d'irrigation	conversion individuelle de système d'irrigation
initiative	L'initiative individuelle pour les agriculteurs	Initiative par l'Etat ou un groupe des agriculteurs
l'intensification des interventions	propriété Au niveau de la propriété	Département de irrigué /unité irriguée
niveau d'intervention	Réseau d'irrigation interne	Réseau d'irrigation externe
équipements collectifs	Une sortie de l'eau, puits / réservoir stockage / individuellement pour le traitement de l'eau au niveau de la propriété	Réseau fonctionnant sous basse pression / interne au niveau de prise / configuration la propriété par l'agriculteur
Les mécanisme les plus importants de l'intervention de l'Etat	soutien financier de l'Etat dans le cadre du Fonds de soutien à l'agriculture	L'investissement public dans le but de moderniser le réseau
	faciliter l'accès crédit pour les petits agriculteurs	Le soutien financier de l'Etat dans le cadre du Fonds de soutien à l'agriculture faciliter l'accès crédit pour les petits agriculteurs
la participation des agriculteurs	pas nécessaire	Nécessaire

Tab.2 : La différence entre la conversion individuelle et collective de système d'irrigation du gravitaire au localisé :

Modernisations individuelles :

Correspond à la réalisation du projet de reconversion en IL par les agriculteurs eux-mêmes sur la base du principe du guichet ouvert, aussi bien en grand hydraulique qu'en irrigation privée. L'Etat aura alors pour rôle de réunir toutes les conditions requises pour permettre la réalisation par les agriculteurs de ces prévisions (guichets ouverts pour les aides financières, mise en œuvre des procédures, encadrement direct et indirect... etc.)

Les superficies prévues pour ce type de conversion sont estimées à 337 150 ha, 177 150 pour les périmètres de la grande hydraulique et 160 000 ha pour l'irrigation privée.

- Valorisation agricole

La réussite d'un programme aussi ambitieux que celui du PNEEI dépend du degré de valorisation agricole. Celle-ci passe par :

- › Le choix des cultures ayant le meilleur potentiel de valorisation de l'eau d'irrigation compte tenu des spécificités régionales.
- › La promotion de ces cultures auprès des agriculteurs.
- › Des actions visant la commercialisation des produits. Selon les produits, les marchés visés peuvent être le marché local de la consommation, le marché international ou le débouché de la transformation.

- Renforcement de la l'appui technique

En termes de renforcement des capacités le PNEEI s'intéressera aux groupes suivants:

- › Les agriculteurs et leurs associations
- › Les organismes et institutions publics
- › Le secteur privé chargé de la fabrication, de la fourniture et de l'installation du matériel

4. Modalité de mise en œuvre :

Le PNEEI à l'instar des programmes de développement agricole, s'appuiera sur une série de leviers pour atteindre ses objectifs.

Les leviers que l'Etat peut mettre en œuvre pour arriver à des résultats concrets en matière d'économie d'eau peuvent être résumés dans ce qui suit :

- ✓ le levier des outils macro-économiques : taux de changes, taux d'intérêts, tarifs douaniers et fiscalité
- ✓ Le levier des subventions et autres incitations financières
- ✓ Le levier de la tarification de l'eau d'irrigation
- ✓ Le levier des autorisations de pompage avec toutes leurs implications

Avec la réalisation de ce programme, la superficie de L'IL atteindra près de 700 000 ha, soit presque 50 % de la superficie équipée pour l'irrigation.

Les graphiques suivants présentent les pourcentages en superficies des trois modes d'irrigation (gravitaire, aspersion et Irrigation localisée) actuelle et après réalisation du PNEEI.

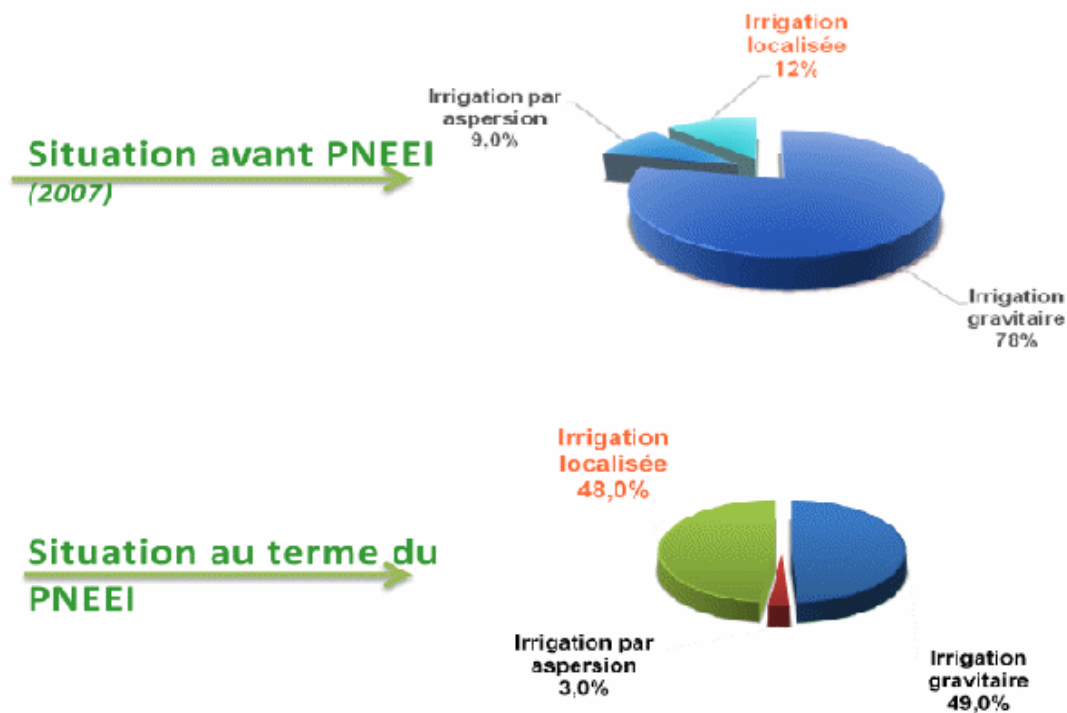


Fig. 4 : l'évolution du système d'irrigation selon le PNEEI .

5. Risques du programme :

Les risques sont d'ordre naturel, institutionnel, technique, financier et commercial.

- Les risques naturels sont causés par les apports d'eau de plus en plus réduits aux barrages.
- Les risques institutionnels pourraient provenir du manque de coordination et de concertation entre les différentes institutions de l'Etat, ainsi que la faiblesse des associations représentant les agriculteurs et les irrigants .
- Les risques financiers proviendraient des agriculteurs qui n'arriveraient pas à suivre le rythme des financements exigés par le passage à l'agriculture très intensive et moderne comme c'est le cas en irrigation localisée
- Les risques techniques concerneraient l'extension des superficies irrigués ainsi l'accroissement de la consommation globale de l'eau
- Les risques commerciaux concernant la non disponibilité sur le marché des équipements adéquats et désirés d'irrigation avec propagation d'un mauvais matériel d'irrigation et le manque de débouchés pour les projections.

6. Besoin et crédit :

Les besoins et crédits pour financer ce programme sont résumés dans le tableau II et schématisés sur le graphique de la figure x

	MDH														
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1-besoins en crédits (budgets ORMVA)	51	301	1213	2027	2484	2725	1980	1688	1190	699	767	672	672	426	63
2-besoins FDA	440	552	622	644	657	602	570	468	517	521	504	497	489	369	316
TOTAL GENERAL	491	853	1835	2671	3140	3327	2550	2158	1706	1220	1271	1169	1161	769	378

Tab.3 : les besoin pour la réalisation des aménagements prévus par le PNEEI

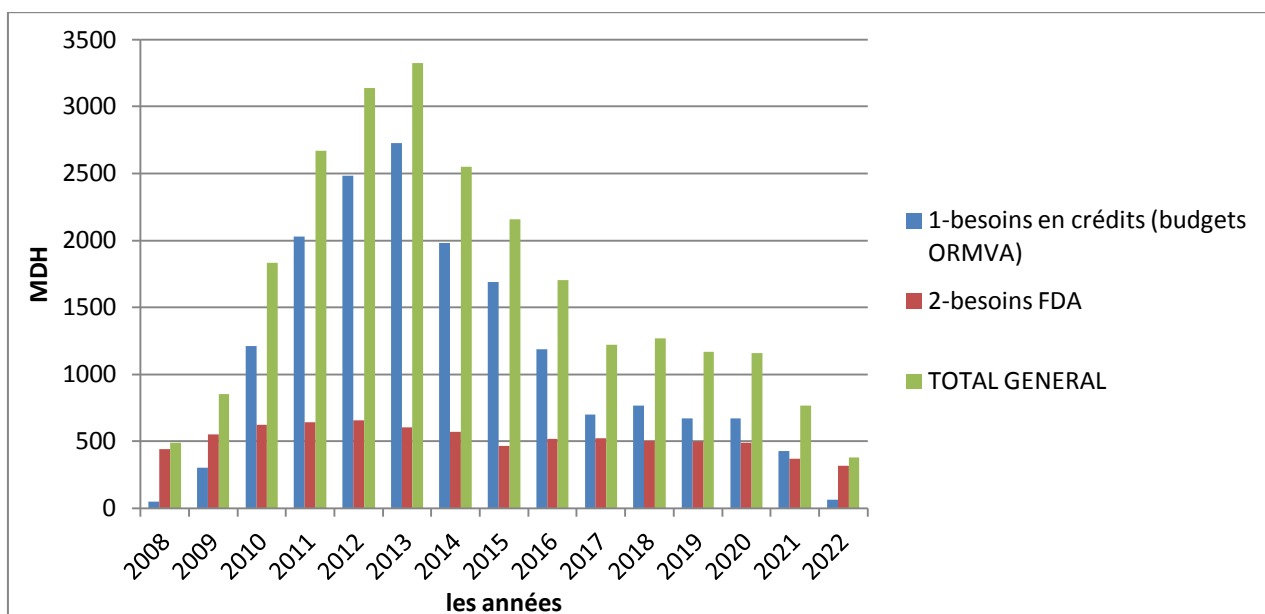


Fig. 5 : Evolution des besoins en crédits des aménagements du PNEEI:

Troisième chapitre : Structure du réseau d'irrigation : canal T2

Dans la région du Haouz, le problème de l'eau nécessite des transferts importants et par conséquent de grands aménagements. Ainsi, pour irriguer 37 500 Ha de la Tessaout aval, il a fallu transférer une partie des eaux de l'oued El Abid régularisées par le barrage de Bin El Ouidane qui dessert la région du Tadla. Ceci a donné naissance au canal T2, long d'environ 93 km, permettant de transiter un débit en tête de 12 m³/s et de transférer un volume annuel de 235 millions de m³.

Deux ouvrages principaux à savoir les siphons de franchissement des oueds El Abid et Tessaout divisent le canal T2 en trois tronçons utilisant divers modes de régulation. En effet, le premier tronçon, long d'environ 50 km, est en régulation par l'amont. Entre les deux siphons, se situe le tronçon réservoir qui est en régulation mixte. Enfin, le dernier tronçon qui alimente les prises d'irrigation est en régulation par l'aval.

Le long du canal, un ensemble de capteurs de mesure remontent les différentes informations nécessaires pour la supervision. Ces informations sont rapatriées au Centre Général de Télé Contrôle par le biais d'un réseau de transmission radio. Elles sont ensuite traitées par le logiciel de régulation qui a pour but de réaliser une loi de fourniture optimale en commandant les vannes de tête. Ce logiciel a pour particularité d'utiliser les systèmes experts flous. Ainsi, le canal T2 est le premier au monde à utiliser un logiciel de régulation à base de logique floue.

Les récentes années de sécheresse montrent que les ressources en eaux sont limitées et qu'elles ne sont disponibles qu'au prix d'une gestion très rigoureuse. Il s'est, donc, avéré nécessaire de penser, en plus de la télégestion et régulation du canal T2, à la réalisation d'un « outil » permettant la gestion concertée entre les utilisateurs des eaux régularisées par le barrage Bin El Ouidane (ONE, ORMVAT et ORMVAH). Cet outil, appelé logiciel de gestion concertée a été développé dans le souci de gestion optimisée du point de vue hydro-agricole et hydroélectrique.

A. Le réseau d'irrigation de canal T2 :

1. Description du Canal de T2 :

Le canal T2, pièce maîtresse de l'aménagement hydroagricole de la Tessaout Aval, véhicule à partir de Bin El Ouidane et le périmètre de Tadla une dotation de 235 millions de m³, sur une longueur de 93 Km, avec un débit en tête maximal de 12 m³/s.

a) Origine du canal T2 :

Les eaux de l'oued El Abid, régularisées à Bin El Ouidane, sont turbinées puis restituées à Afourer dans un bassin qui constitue l'origine d'un système hydraulique très important alimentant le périmètre des Beni Moussa à l'intérieur du Tadla.

L'usine comporte deux turbines d'un débit maximum unitaire de 24 m³/s. Son rôle est essentiellement le soutien des pointes de consommation électrique aux heures de fortes demandes. Ceci se traduit par d'importantes fluctuations de volumes et de niveaux dans le bassin de tranquillisation, ainsi que dans le canal GM et les deux premiers biefs du canal D qui constituent des canaux réservoirs.

Côté ouest, le canal principal GM de 8 km de longueur et de 32 m³/s de débit nominal subdivisé à son extrémité en trois canaux : le canal coursier qui peut porter en tête 32 m³/s, le canal G de 38 km de long et d'environ 18 m³/s de débit nominal en tête (ces ouvrages sont en service depuis plus de 40 ans pour les plus anciens) et le canal T2.

Le branchement du canal T2, à la fin du canal GM, permet d'alimenter le périmètre de la Tessaout aval dans des conditions sensiblement équivalentes à celles des périmètres du Tadla. De plus, l'étude de la régulation du canal T2 a été faite dans l'esprit d'augmenter la souplesse de gestion des eaux du barrage Bin El Ouidane. En effet, le tronçon réservoir du canal permet de stocker les excédents d'eaux turbinés pendant les heures de pointe. (SYSTEME DE REGULATION DU CANAL T2: ORMVAH).

b) Fiche synoptique du canal T2 :

- LONGUEUR : 93 Km
- DEBIT MAX : 12 m³/s
- VOLUME ANNUEL : 235 millions de m³

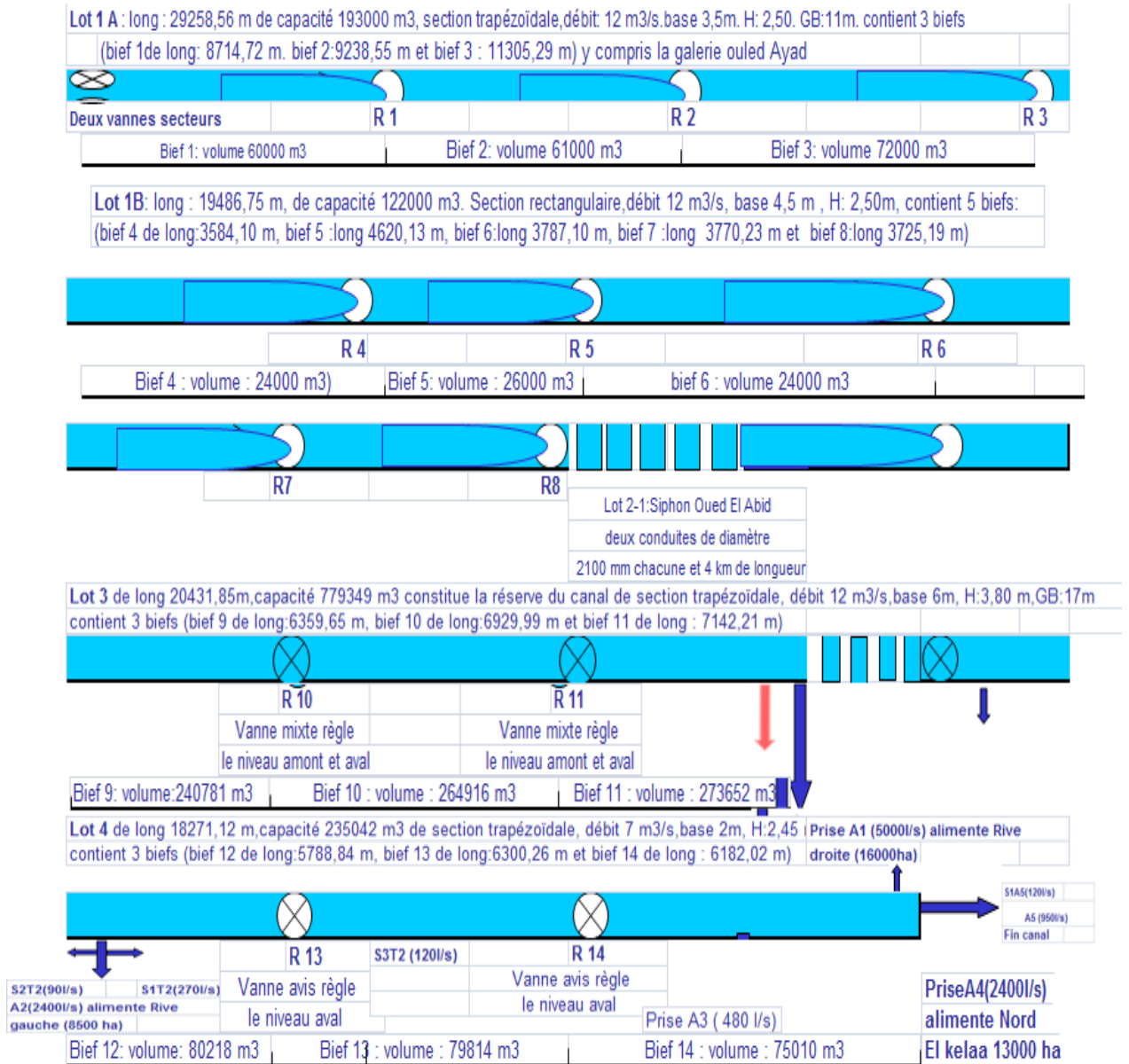


Fig.6 : shéma canal du canal T2

 La prise qui va alimenter la station de filtration.

B. Systèmes hydraulique de régulation :

1- Régulation par l'amont :

La régulation par l'amont veut qu'à chaque fois qu'on envoie une impulsion à l'amont, il y a soit une vanne qui s'ouvre (vanne dite à niveau amont constant) soit un déversoir qui fonctionne (cas d'un régulateur statique appelé bec de canard) pour laisser passer les excédents de débit. Le problème est que le débit à l'aval n'est pas forcément celui demandé par les agriculteurs. Par ailleurs, si l'on regarde le profil en long, la régulation par l'amont implique que les berges du canal aient la même pente que celle du terrain naturel, donc un minimum d'excavations et de génie de civil.

L'intérêt de ce mode de régulation est donc un coût minimal, le gros désavantage étant dans le fait qu'il n'y a aucune souplesse dans l'exploitation.

2- Régulation par l'aval :

Ce mode de régulation est basé sur les vannes à niveau aval constant. Donc, si on tire plus d'eau à l'aval, le niveau baisse et la vanne s'ouvre; ce qui satisfait entièrement l'agriculteur. Par contre, l'exploitant ne maîtrise plus les variations de débits qu'il doit lâcher en tête du canal. Dans le cas de la régulation par l'aval, au lieu d'avoir des berges parallèles aux pentes, on a des berges horizontales, ce qui permet d'avoir une réserve beaucoup plus importante dans le canal même et plus de souplesse au niveau de l'exploitation.

L'intérêt de cette régulation réside dans le fait que l'exploitant n'a plus qu'à surveiller un seul point puisque toutes les sollicitations venant de l'aval sont transmises automatiquement jusqu'à l'amont. Mais, ces débits prélevés par l'irrigant ne peuvent pas être assurés en continu en tête du canal (cas d'un turbinage en amont) car ils ne concordent pas toujours avec la pointe énergétique.

3- Régulation mixte :

Il a fallu attendre les réflexions menées lors des années cinquante pour arriver à concevoir la vanne mixte. Cette vanne fonctionne avec un flotteur à l'amont et un flotteur à l'aval. Donc, si on a un sur-débit à l'amont, le flotteur amont va se lever, la vanne va s'ouvrir et l'eau va passer dans le bief aval. A l'inverse, si on a une variation en plus ou en moins à l'aval, due à la consommation en eau d'irrigation, le flotteur aval se lève ou se baisse et donc sollicite la vanne dans le même sens. Ainsi, on peut faire jouer au canal la fonction de stockage en plus de celle de l'adduction. Donc, on peut

avoir un canal qui, en période de pointe énergétique, va se remplir sur l'ensemble de ses biefs; alors que, en période de non turbinage, il va se vider, à la satisfaction de l'irrigant qui, eux, vont avoir un débit constant au niveau de leurs parcelles.

Cette technique demande, certes, un supplément d'investissement, mais une grande souplesse d'exploitation.

4- Cas du canal T2 : système associant divers modes de régulation

Parallèlement à l'évolution de l'hydromécanique, se sont développées des techniques d'électronique et de télésurveillance sur les ouvrages hydrauliques de manière à améliorer l'exploitation et le service de l'eau. On a commencé par la pose des systèmes d'alerte assez simples, puis on a conçu des systèmes plus sophistiqués de télécontrôle.

La régulation du canal T2 est basée sur le principe des vannes mixtes, mais améliorées c'est-à-dire qu'on a gardé cette fonction de stockage sur le tronçon milieu du canal. Par contre, utilisant la télégestion, on a mis toute la tête morte (cinquante kilomètres) en régulation par l'amont (ce qui coûte moins cher en investissement) et on régule la réserve avec les vannes de tête. De plus, le dernier tronçon du canal qui alimente les prises d'irrigation est en régulation par l'aval.

C. La télégestion des réseaux :

1- Généralité :

La télégestion, permettant la transmission d'informations entre des sites géographiquement éloignés, à des fins de surveillance des installations et d'optimisation du processus, répond à ce besoin.

2- Eléments constitutifs d'un réseau télégeré :

Un système de transmission de données est constitué de postes satellites, de postes secondaires, communiquant avec le poste central via un support de transmission. La nature de ces données sera différente en fonction du type d'émetteur ou de récepteur impliqué dans la transmission. Ainsi, nous distinguons :

- ✓ les données à transmettre des satellites vers le poste central.
- ✓ les données à transmettre du poste centrale vers les satellites.

Globalement, un système de télégestion peut se décomposer en six parties :

- ❖ Les capteurs.
- ❖ Les stations d'acquisition des données.
- ❖ Les automates programmables.

- ❖ Les supports de transmission.
- ❖ Les frontaux.
- ❖ Le poste central.

Quatrième chapitre : Cadre hydrochimie des eaux du canal T2

A. Introduction :

Les ressources hydriques sont soumises à plusieurs contraintes, la rareté, l'irrégularité temporelle, la mauvaise répartition spatiale et la grande vulnérabilité à la sécheresse et à la pollution. La zone d'étude, ne fait pas exception.

Ce chapitre fait l'objet d'une approche hydro-chimique des ressources en eau afin de définir la qualité, les faciès, la composition chimique et les possibilités d'utilisation de l'eau de la zone d'étude pour l'irrigation.

B. Méthodologie :

Dans le but d'une caractérisation des eaux d'irrigation dans la zone d'étude, nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage durant le mois du mai, nous étions dans l'obligation de répartir nos points de prélèvement sur le long du canal A1.

Au total, 4 échantillons des eaux ont été prélevés. Le premier prélèvement à la fin du canal A1, le 2^{ème} prélèvement aux milieux, le 3^{ème} prélèvement au départ du canal A1, en plus d'un dernier prélèvement dans la source du canal A1 (canal T2). Tous ces prélèvements sont accompagnés par des mesures sur place des températures, PH et de conductivité.

Le but de notre étude est la caractérisation des eaux d'irrigation. Pour ceci, des analyses physico-chimiques de l'eau d'irrigation ont été effectuées au laboratoire de pédologie de l'OROMVA du Haouz.

Les paramètres mesurés ont porté sur la conductivité, le pH et sur les éléments majeurs à savoir : HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ et SO_4^{2-} .

C. Mode opératoire :

➤ PH :

Il permet de déterminer l'acidité d'une eau ; il se mesure à l'aide d'un pH-mètre.

➤ **La conductivité électrique :**

Elle permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation totale de l'eau. Elle a été réalisée sur le terrain et au laboratoire à l'aide d'un conductivimètre.

➤ **Le bilan ionique de l'eau :**

L'analyse chimique des eaux se fait par le dosage volumétrique pour les chlorures, les bicarbonates, les carbonates, le calcium et le magnésium) et par spectrophotométrie à flamme pour le sodium, le potassium et les sulfates. Les méthodes de dosage ci-après décrites ont tirées de Jackson (1965) et Rodier (1984).

↪ **Les chlorures :**

Les ions Cl^- sont dosés par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3 , 0.02N) en présence de chromate de potassium (KCrO_4). Les chlorures vont se précipiter sous forme de chlorure d'Argent (AgCl).

1) Calcul

$$\text{mg /L} = V(\text{AgNO}_3) * 5 * 35,5$$

↪ **Les bicarbonates :**

Les eaux naturelles ont un pH neutre, ce qui correspond à la zone de stabilité des ions HCO_3^- , les ions CO_3^{2-} sont absents. Le dosage des HCO_3^- se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à 0.02N. L'indicateur coloré utilisé est le vert de Bromocrésol qui donne une couleur bleue.

2) Calcul

Soit v (ml) volume d'acide sulfurique versé dans le dosage de carbonates et V (ml) volume d'acide sulfurique versé dans le dosage de bicarbonates.

S'il n'y a pas de carbonates:

$$\text{méq} (\text{HCO}_3^-) / \text{L} = V (\text{ml}) * 0,02 * 1000 * 0,1 = N (\text{ml}) * 2 * 61 (\text{mg/l})$$

↪ **Le calcium :**

Il se dose par complexométrie dans un milieu alcalin à $\text{pH} = 10$ en présence de la soude (NaOH). Nous titrons par l'acide éthylène diamine tétra-acétique (E.D.T.A.), avec le murexide comme indicateur coloré.

3) Calcul

Soit n (mL) le volume d'EDTA ajouté (0,02N)

$$\text{méq} (\text{Ca}^{2+} / \text{L}) = n (\text{mL}) * 0,02 * 0,1 * 1000 = 2n$$

$$\text{mg} (\text{Ca}^{2+} / \text{L}) = 2n * 20$$

↳ **Le Magnésium :**

Les teneurs en ions Mg^{2+} sont calculées par la différence de la dureté totale et du Calcium exprimés en méq/l.

4) Calcul

Soit N (mL) le volume d'EDTA (0,02N) versé.

$$\text{méq } (Mg^{2+} / l) = ((N-n) \cdot 0,02 / 10) \cdot 1000 = 2(N-n)$$

$$\text{mg } (Mg^{2+} / l) = 2(N-n) \cdot 24$$

↳ **Sodium et le Potassium :**

Le dosage de ces deux ions se base sur la méthode de spectrophotométrie à flamme. Son principe se base sur la dissociation des atomes pendant leur passage dans la flamme, et qui émettent de l'énergie à leur excitation. Chaque élément va émettre une longueur d'onde bien précise qui sera détectée par des filtres optiques de chaque élément. Le principe consiste à réaliser une courbe d'étalonnage de l'élément à doser avec des concentrations connues, puis évaporer dans la flamme du photomètre l'eau à analyser et déterminer la teneur du Na^+ ou K^+ en connaissant la longueur d'onde d'absorption de chacun d'eux.

5) Calcul

$$\text{mg } Na^+ \text{ par litre} = \text{meq } Na^+ / \text{litre} \cdot 23$$

$$\text{mg } K^+ \text{ par litre} = \text{meq } K^+ / \text{litre} \cdot 39$$

↳ **Les sulfates :**

Ils sont analysés à l'aide de chlorure de Barium stabilisé (Cl Ba), on agite 2 à 3 fois, après 15 secondes, on agite encore une fois et on fait la lecture au spectrophotomètre à 650 nm. Pour 39ml la courbe donne directement la teneur en SO_4^{2-} en mg/l.

6) Calcul

Soient :

N ml de complexion III N/50 utilisés pour complexer (Ca + Mg).

V ml utilisés pour complexer Ca + Mg + Ba en excès + Mg ajouté.

T ml utilisés pour complexer Ba et Mg.

$$\text{méq } SO_4 \text{ par litre} = ((t + N) - v) \cdot 2$$

$$\text{mg SO}_4 \text{ par litre} = 2 * (t + N) - v * 48$$

D. Résultats et interprétations :

a) PH :

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure l'activité en ions H_3O^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre se mesure par un pH-mètre. Il conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de facteurs multiples dont la température et l'origine de l'eau.

Le pH des eaux concerné par l'étude est compris entre 6,5 et 6,8 .généralement en peut dire quelle sont neutre.

b) La conductivité électrique :

C'est un paramètre physique très important car il traduit le degré de minéralisation des eaux. Il permet d'avoir rapidement l'ordre de la minéralisation globale de l'eau, son unité est le mS/cm. Afin de déterminer la concentration des sels solubles dans l'eau.

Les résultats obtenus montrent que les eaux du canalA1 ont une conductivité électrique comprise entre 0,410mmhos/cm et 0 ,406mmhos/cm avec une moyenne de 0,4725mmhos/cm.

Risque	Total dissous (mg/L)	mmhos/cm
Nul	<500	<0.75
Légers	500-1000	0.75-1.5
Modéré	1000-2000	1.5-3.00
Sévère	>2000	>3.0

Tab4: Risque de salinité des eaux d'irrigation en fonctions de la conductivité électrique

(<http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/salinite/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>)

Selon les données du tableau 4, nous remarquons que tous nos échantillons ont une conductivité électrique inférieure à 0,75 mmhos/cm soit un total de sels solubles inférieur à 0,5 g/l. Ce sont des eaux non salines de bonne qualité pour l'irrigation.

c) **Les éléments majeurs :**

Les caractéristiques chimiques des eaux analysées sont résumées dans les tableaux 5 et 6 :

- **Les anions :**

	Min	Moyenne	max
Chlorures	44,375	71	97,625
Bicarbonates	85,4	91,5	97,6
sulfates	14,4	19,2	28,8

Tab .5 : bilan ionique des cations.

- **Les cations :**

	Min	Moyenne	max
Calcium	14	21,5	30
Magnésium	10,89	16,335	19,36
Potassium	3,4426	3,860113	4,246684
Sodium	82,913	96,581	122,929

Tab 6: bilan ionique des cations.

Les variations de l'alcalinité des eaux sont rapprochées de celles du degré de minéralisation (conductivité électrique, dureté totale, pH). L'eau de canal T2 utilisée en agriculture dans la rive droit de l'oued Tassaout est caractérisée par des teneurs en bicarbonates variant entre 85,4mg/l et 97,6 mg/l avec une teneur moyenne de 91,5 mg/l. Les ions calcium et magnésium ont pour rôle de maintenir un état d'équilibre dans la plupart des eaux. Les deux ions calcium et magnésium sont associés à l'agrégation du sol et de sa friabilité, mais ils sont également essentiels comme éléments nutritifs.

Une forte concentration de Ca^{2+} et Mg^{2+} dans l'eau d'irrigation peut augmenter le pH du sol, résultant la réduction de la disponibilité du phosphore. L'eau contenant des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} en quantité supérieure à 200 mg/l ne peut pas être utilisée en agriculture. Les teneurs en calcium et en magnésium enregistrées au niveau de l'eau du canal A1 utilisée en irrigation varient respectivement de 14 mg/l à 30 mg/l et de 10,89 à 19,36 mg/l.

Le potassium, considéré comme un élément bénéfique pour les plantes, présente des teneurs faibles oscillant entre 2 mg/l et 7 mg/l.

Les chlorures ne sont pas adsorbés ou retenus par les sols, par conséquent, ils se déplacent facilement à l'eau du sol et sont repris par la culture. Ils se déplacent dans le flux de transpiration et s'accumulent dans les feuilles. Si la concentration en chlorures dans les feuilles dépasse la tolérance de la culture, elle entraîne la brûlure des feuilles ou le séchage des tissus foliaires. Les teneurs en chlorures enregistrées au niveau de l'eau du canal A1 utilisée en irrigation dans la rive droite oscillent entre 44,375 mg/l et 97,625 mg/l. Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Une grande quantité de sodium a un effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. L'eau qui doit être utilisée en irrigation doit avoir une concentration en sodium au dessous de 184 mg/l. L'eau d'irrigation de la rive droite de l'oued Tassaout oscille entre 82,913 mg/l et 122,929 mg/l avec une moyenne de 96,581 mg/l.

E. Classification des eaux :

a) Faciès chimiques :

Afin de déterminer le faciès chimique des eaux d'irrigation utilisées dans la rive droite de l'oued Tassaout, on a utilisé le diagramme de Piper et Schöeller Berkalloff. L'analyse de ces deux diagrammes, montre que les eaux du canal A1 présentent un faciès chloruré, sodique potassique et sulfaté.

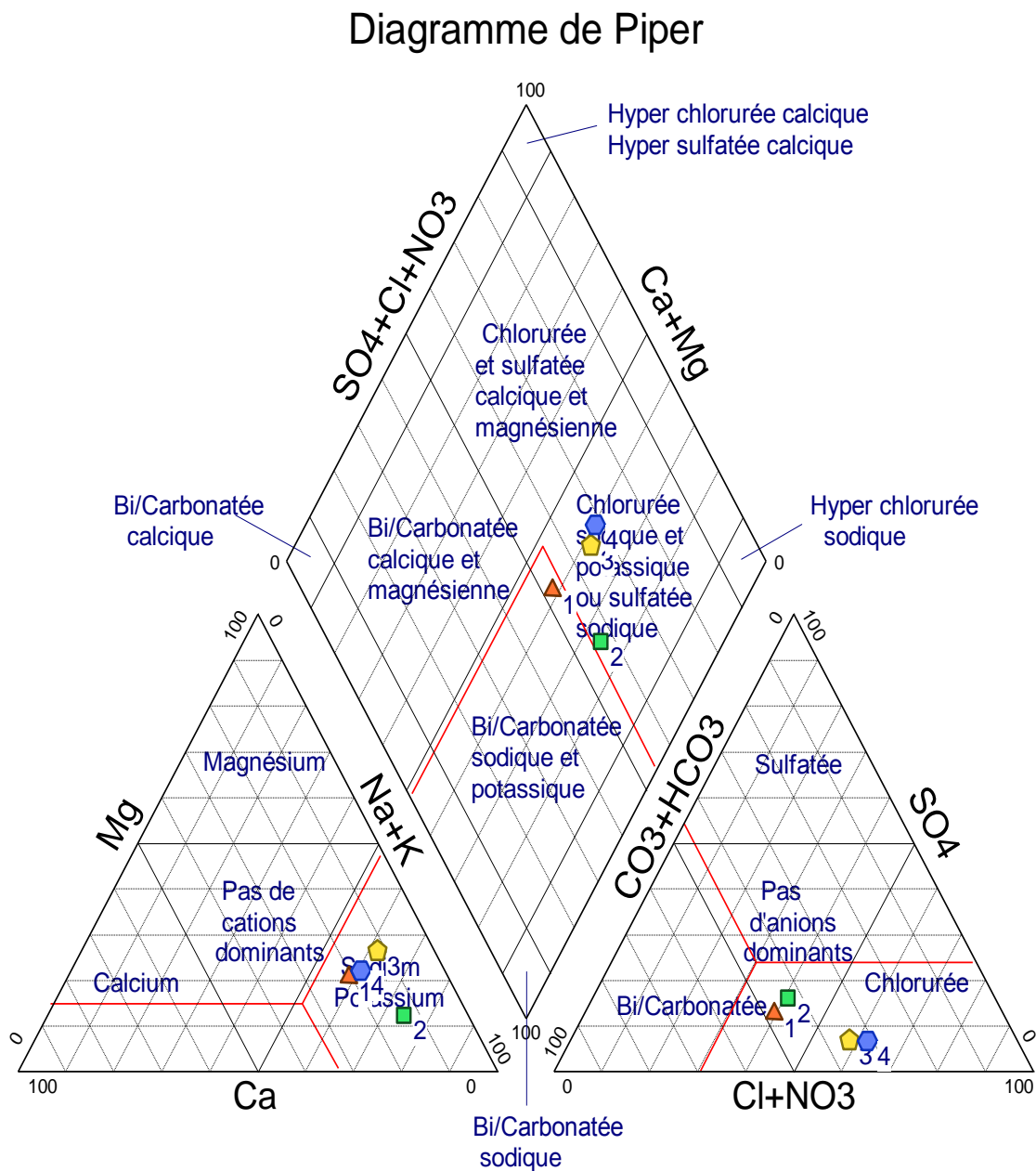


Fig.7 : Diagramme de piper : détermination des faciès chimique

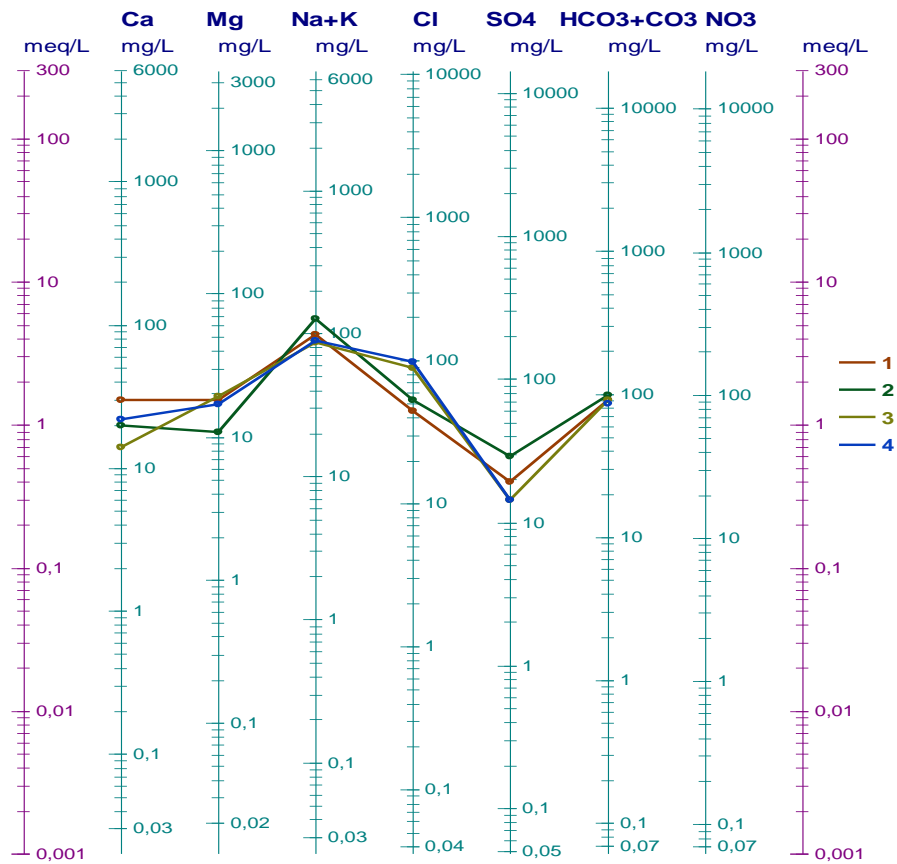


Fig.8 : Diagramme de Scholler Berkaloff : l'évolution des différents paramètres chimiques.

b) Taux d'absorption du Sodium (SAR) :

Pour maintenir les conditions d'infiltration adéquates dans les sols irrigués, il faut veiller à empêcher les complexes d'échange du sol de se charger en Na^+ . On exprime le danger de sodalité d'une eau d'irrigation par le SAR (Sodium Absorption Ratio),

$$\text{SAR} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2]^{1/2}$$

Où Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimés en meq/l.

Le sodium échangeable a une incidence marquée sur les propriétés physiques et chimiques des sols. A mesure que la teneur en eau échangeable augmente, le sol a tendance à se disperser, il devient moins perméable à l'eau et ne prête guerre aux

pratiques culturales (Ouyse, 2005). L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines. Le calcul de ce paramètre va nous permettre d'apprécier la dégradation éventuelle de la structure du sol et l'altération de ses qualités physiques.

Interprétation :

D'après les résultats concernant le SAR, on constate que la proportion du sodium adsorbé est comprise entre 1,497 et 4,804, ce qui affirme un très faible apport du sodium à la solution du sol selon la classification du SAR.

SAR	Risque
<10	Faible
10<SAR<18	Moyen
10<SAR<18	Elevé
>26	Très élevé

Tab.7: classification du SAR.

Source : <http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>

Plus la salinité sera élevée, plus l'indice SAR pourra poser des problèmes d'infiltration. Mais, plus la salinité sera basse, plus les problèmes d'infiltration seront indépendants de la valeur du SAR.

Les averses de pluie peuvent réduire la salinité des sols et, par conséquent, augmenter l'indice SAR et affecter la pénétration d'eau dans ces sols.

c) Indice de saturation :

L'indice de saturation est un nombre sans dimension permettant de déterminer la stabilité du carbonate de calcium dans l'eau. Il indique si l'eau va précipiter, se dissoudre ou être en équilibre avec le carbonate de calcium :

- Lorsque le SI > 0, l'eau est super saturée et tend à précipiter et former des dépôts de CaCO₃.
- Lorsque le SI = 0, l'eau est saturée (en équilibre) en CaCO₃. Des dépôts de CaCO₃ ne sont ni déposés ni dissous.
- Lorsque le SI < 0, l'eau est sous saturée et tend à dissoudre le CaCO₃ solide.

On observant le tableau 3 ci-dessous, nous constatons que nous somme dans le 3^{eme} cas puisque tout les *SI* sont négatifs. Ceci nous permet de déduire que les dépôts calcaires ne posent aucun problème dans ce qui concerne le colmatage des orifice du goutte a goutte par son accumulation.

<i>SI</i>	aragonite	Calcite	dolomite
<i>fin de AI</i>	-1,15	-1	-1,87
<i>Milieu de AI</i>	-1,3	-1,15	-2,22
<i>départ de AI</i>	-1,47	-1,33	-2,16
<i>canal T2</i>	-1,31	-1,16	-2,09

Tab.8: L'indice de saturation des certains minéraux

C. La Turbidité de l'eau d'irrigation

1. Définition de turbidité :

La turbidité de l'eau vient de la présence de diverses matières en suspension telles que les argiles, limon, matière organique et minérale en fines particules, plancton. Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire entraîné passivement dans l'eau (vivant ou détritique, minérale ou organique). La turbidité correspond à la propriété optique de l'eau qui fait que la lumière incidente est diffusée ou absorbée. Il s'agit d'un paramètre dont la signification dépend de la technique de mesure utilisée. Plusieurs mesures optiques rendent compte de la turbidité.

2. Méthode de mesure

On mesure la turbidité en unités de turbidité néphalométriques (UTN) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau. La turbidité peut s'échelonner de

moins d'une UTN à plus de 1 000 UTN. À 5 UTN, l'eau est visiblement trouble; à 25 UTN, elle est noirâtre.

- $NTU < 5 \rightarrow$ eau claire
- $5 < NTU < 30 \rightarrow$ eau légèrement trouble
- $NTU > 50 \rightarrow$ eau trouble

Mesure Pour mesurer la turbidité d'un échantillon, procédez ainsi:

Mesurée soit stable avant de la relevé.

Calibration

Pourquoi calibrer : Comme pour tous les appareils de mesure, il faut que la précision de mesure soit vérifiée et ajustée à intervalles réguliers.

- étalonnage : au point zéro à 0 NTU

- étalonnage : standard à 40 NTU

En suite on mesure la turbidité de l'échantillon après que l'on place au puits et lisent directement la valeur sur l'écran du turbidimètre.

Les mesures réalisées indiquent qu'on a une eau eau légèrement trouble :

Valeur maximale ($7,5NTU < 30NTU$).

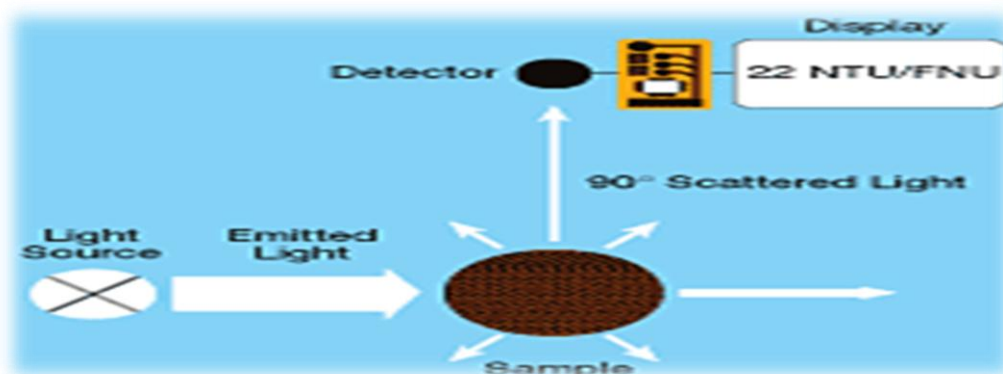


Fig.9 :le fonctionnement du turbidimètre .

Conclusion :

Les résultats obtenus nous permettent de déduire que l'eau du canal A1 dérivé de canal T2 est généralement limpide a légèrement trouble mais les travaux en cours le long du canal a augmenter la turbidité de cette dernière qui augmente de l'amont vers l'aval qui explique la présence de quelque particule très fine, généralement la turbidité ne dépasse pas 7,5NTU .Mais n'exclue pas des procédures de filtration pour garantir le bon fonctionnement du système de goutte à goutte puisque ces résultats sont obtenus

pendant le mois de mai. Pendant les mois d'octobre ou de décembre, il peut y avoir des crues qui peuvent vraiment causer des problèmes à notre système d'irrigation.

Cinquième chapitre : Qualité des eaux d'irrigation

A. Les Normes de qualité des eaux d'irrigation

Des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation au Maroc s'imposent car l'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, leur contact éventuel avec des sources de pollution, ont des caractéristiques très diversifiées.

De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies afin de :

- protéger le public et les ouvriers agricoles ;
- protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ;
- protéger le matériel d'irrigation ;
- maintenir des rendements acceptables.

Ces normes sont résumées dans le tableau 9 qui suivent :

Paramètres Bactériologiques	valeurs limites
1-Coliformes fécaux	1000/100 ml
2-Salmonelle	Absence dans 5 l
3-Vibron Cholérique	Absence dans 450 ml

Paramètres Parasitologiques	valeurs limites
4-Parasites pathogènes	Absence
5-OEufs, kystes de parasites	Absence

6-Larves d'Ankylostomides	Absence
7-Fluococercaires de Schistosoma Hoematobium	Absence

Paramètres Toxiques	valeurs limites
8-Mercure (Hg) en mg/l	0,001
9-Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
10-Arsenic (As) en mg/l	0,1
11-Chrome total (Cr) en mg/l	1
12-Plomb (Pb) en mg/l	5
13-Cuivre (Cu) en mg/l	2
14-Zinc (zn) en mg/l	2
15-Sélénium (Se) en mg/l	0,02
16-Fluor (F) en mg/l	1
17-Cyanures (CN) en mg/l	1
18-Phénols en mg/l	3
19-Aluminium (Al) en mg/l	5
20-Béryllium (Be) en mg/l	0,1
21-Cobalt (Co) en mg/l	0,5
22-Fer (Fe) en mg/l	5
23-Lithium (Li) en mg/l	2,5
24-Manganèse (Mn) en mg/l	0,2
25-Molybdène (Mo) en mg/l	0,01
26-Nickel (Ni) en mg/l	2
27-Vanadium (V) en mg/l	0,1

Paramètres Physico-Chimiques Salinité	valeurs limites
28-Salinité totale (STD) en mg/l	7680
Conductivité électrique (CE) en mS/cm à 25°C**	12
29-Infiltration (SAR)	
0-3 et CE =	<0,2
3-6 et CE =	<0,3

6-12 et CE =	<0,5
=12-20 et CE =	<1,3
20-40 et CE =	<3

SAR = Sodium Absorption Ratio (coefficient d'absorption du sodium)

Ions Toxiques (Affectant les Cultures Sensibles)	valeurs limites
30-Sodium (Na) en mg/l	
Irrigation en surface (SAR***)	9
Irrigation par aspersion	69
31-Chlorure (Cl) en mg/l	
Irrigation en surface	350
Irrigation par aspersion	105
32-Bore (B) en mg/l	3

Effet divers (affectant les cultures sensibles)	valeurs limites
33-Température (°C)	35
34-Ph	6,5 à 8,4
35-Matières en suspension en mg/l	
Irrigation gravitaire	2 000
Irrigation par aspersion (localisée)	100
36-Azote nitrique (N-NO₃) en mg/l	30
37-Bicarbonate (HCO₃) [irrigation par aspersion] en mg/l	518
38-Sulfates (SO₄²⁻) en mg/l	250

Tab .9: les normes des eaux destinées à l'irrigation

On doit connaître les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau utilisée en micro-irrigation afin d'éviter des effets négatifs sur les plantes et le colmatage des émetteurs goutte-à-goutte.

1. Caractéristiques physiques :

Il s'agit des particules de sol en suspension dans l'eau. Si aucune précaution n'est prise, ces matières peuvent obstruer progressivement les émetteurs des tuyaux goutte-à-goutte qui ont de très petits orifices. Ce problème se présente le plus souvent lorsqu'on s'approvisionne avec une eau de surface. Les sédiments sont aspirés par la pompe ou entrent en suspension à la suite de l'agitation de l'eau. Un bon système de filtration peut empêcher ces particules d'entrer massivement dans le réseau d'irrigation. La règle du pouce indique que les filtres doivent retenir des particules qui sont jusqu'à dix fois plus petites que le plus petit orifice d'un goutteur qui a environ 1 mm de diamètre. Les particules qui ne sont pas retenues par les filtres sont alors le plus souvent éjectées par les goutteurs à écoulement turbulent généralement utilisés.

Peu importe d'où vient notre eau d'irrigation, on aura toujours au moins un filtre à disque ou à tamis (filtre 200 mesh ou silice n° 16). Si on s'alimente d'un étang ou d'un cours d'eau où l'eau a généralement davantage de matière organique en suspension, on installera aussi des filtres au sable (media filter), placés en amont du filtre à tamis. Les filtres, même automatiques, nécessitent de l'entretien. Il faut les contre-laver ou les nettoyer régulièrement et remplacer périodiquement leurs éléments filtrants.

Les particules fines admises dans le réseau doivent être délogées en débloquent les lignes et en les laissant couler librement vers l'extérieur. Le nettoyage se fait en plusieurs étapes en ouvrant chacune des lignes individuellement et non pas toutes ensemble.

2. caractéristiques physico-chimiques pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation :

- 1- la salinité : contenu total en sel soluble
- 2- le sodium : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres
- 3- l'alcalinité et dureté : concentration d'anions Carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate
- 4- les bicarbonates (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+})
- 5- le pH de l'eau d'irrigation
- 6- autres éléments.

Les deux premiers critères sont d'importance majeure, car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique.

Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

1. La Salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), de potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimées en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm). L'ancien nom de cette unité est le mho. Un mmho/cm est l'équivalent de 1 mS/cm qui est l'équivalent de 1 desiemens par mètre (dS/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel.

2. Le Sodium : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres :

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément est à l'origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol, ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau.

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques-unes.

3. L'alcalinité et la dureté

L'alcalinité et la dureté sont deux notions intimement liées au risque de colmatage du système goutte-à-goutte.

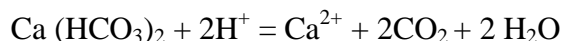
La dureté fait référence à la quantité de calcium et de magnésium contenue dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche mère. L'alcalinité, quant à elle, est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, c'est un peu comme le « pouvoir tampon de l'eau ».

Les bicarbonates de calcium et de magnésium sont relativement peu solubles dans l'eau.



Bicarbonate de calcium (peu soluble) = carbonate de calcium (chaux) + dioxyde de carbone + eau

Lorsque l'eau des goutteurs s'évapore, ou encore lorsque le pH ou la température de l'eau d'irrigation change un peu, le bicarbonate de calcium et de magnésium précipite sous forme de paillettes. Celles-ci migrent à travers le réseau et se déposent à l'intérieur des goutteurs, provoquant peu à peu leur colmatage. Pour contrer ce risque, on doit descendre le pH de l'eau sous le pH 7. Des traitements périodiques à l'acide nitrique ou sulfurique vont éliminer ces dépôts. Une fois le processus d'acidification enclenché, la réaction produit alors de l'eau (H_2O), du dioxyde de carbone (CO_2) qui est libéré dans l'air, ainsi que le cation accompagnateur (soit le calcium ou le magnésium) :



Bicarbonate de calcium (peu soluble) + (acide) = cation accompagnateur + dioxyde de carbone + eau

Quand vous ajoutez de l'acide pour neutraliser l'alcalinité, vous libérez du fait même le calcium et le magnésium qui, sinon, restent emprisonnés par le carbonate. Vous comprendrez alors qu'il est très important de « casser » cette alcalinité qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponibles à la plante.

L'alcalinité, tout comme la dureté de l'eau, est généralement exprimée en ppm (mg/l) de carbonate de calcium (CaCO_3). Il arrive toutefois que la dureté de l'eau soit élevée sans pour autant que son alcalinité le soit. C'est le cas lorsque le calcium et le magnésium de l'eau sont sous forme de sulfates et de chlorures.

- Le pH de l'eau d'irrigation

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0. Plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale.

- Autres éléments :

Certains éléments de l'eau d'irrigation peuvent être directement toxiques à la culture. Établir des limites de toxicité pour l'eau d'irrigation est compliqué de par les réactions qui peuvent se passer quand l'eau atteint le sol. Les éléments potentiellement dangereux de l'eau peuvent être inactivés par des réactions chimiques ou bien s'accumuler dans le sol jusqu'à atteindre des niveaux de toxicité pour les plantes.

- ✓ **Le bore, le sodium et le chlore** sont à surveiller. Des excès en bore sont presque tout le temps associés à des puits très profonds qui ont également une forte salinité. Une eau d'irrigation contenant plus de 1 ppm de bore (B) peut causer une accumulation toxique pour les cultures sensibles, tel l'ail, l'oignon, les haricots et les fraises.
- ✓ **Les chlorures** peuvent causer des dommages lorsqu'ils sont en trop grande quantité dans l'eau d'irrigation, à plus forte raison lorsque c'est par aspersion.
- ✓ **Les sulfates** : le soufre est rarement toxique pour les plantes. Les plantes sont très tolérantes aux sulfates. Leur concentration est généralement mesurée afin d'en prévenir les carences plutôt que d'en vérifier les excès potentiels. Des carences en soufre peuvent être appréhendées si l'eau d'irrigation contient moins de 48 ppm de sulfates.

Le soufre peut parfois occasionner le colmatage. Certaines eaux, facilement identifiables à leur odeur d'œuf pourri, contiennent du sulfure d'hydrogène qui précipite par simple aération.

- ✓ **Le fer** : bon pour les plantes mais peut, dans certaines conditions, colmater les émetteurs.

Des niveaux de fer se situant entre 1 et 2 mg/l sont considérés optimaux pour la nutrition de la plante alors qu'à l'opposé, des niveaux supérieurs à 0,1 mg/l de fer ferreux (Fe^{2+}) peuvent causer l'obstruction des émetteurs. En effet, si une oxydation se

produit, le fer dissous précipite sous forme d'hydroxyde de fer insoluble (Fe^{3+}). L'oxydation peut se faire soit par agitation de la masse d'eau, par incorporation d'oxygène ou par l'action de bactéries ferrugineuses. Contrairement aux carbonates de calcium, l'action de l'acide ne modifie pas le pourcentage de fer qui précipite.

Lorsque le colmatage est d'origine minérale, deux solutions de traitement sont possibles. La première solution consiste à pomper l'eau souterraine dans un réservoir avant de l'envoyer dans le système d'irrigation en s'assurant qu'il y a une bonne aération dans le réservoir.

L'aération permet la transformation de Fe^{2+} soluble en Fe^{3+} insoluble qui se dépose au fond du réservoir. L'autre alternative consiste à injecter du chlore, un agent oxydant puissant, sous forme d'hypochlorite de sodium (eau de Javel), pour que le fer précipite et qu'il soit intercepté par le filtre.

Conclusion générale :

En se basant sur les résultats de l'analyse des eaux du canal T2, on peut déduire que la qualité de ces eaux est généralement acceptable, les risques de colmatage ne se sont pas sévèrement posés, car les particules en suspension sont généralement de petites tailles (composition argilo-limoneuse) en comparaison avec le diamètre du goutteur.. Cependant, le risque de la turbidité des eaux pendant les crues peut influencer le bon fonctionnement des goutteurs et les colmater.

Le système d'irrigation goutte-à-goutte comporte certaines particularités qu'il faut connaître pour rationaliser correctement son fonctionnement pour cela il faut un système de filtration efficace pour empêcher que les organes de distribution ne se bouchent (tuyau et buses). Le choix du filtre dépend de la source d'eau d'irrigation (T2). et de la qualité de cette eau

L'installation d'une station de filtration reste une exigence pour permettre le bon fonctionnement du système de micro-irrigation, et l'arrosage le plus uniforme. Pour ceci, on a choisi différents types de filtres (filtre à tamis, à sable, à disque).

Tous les filtres peuvent bien fonctionner s'ils sont adéquatement dimensionnés et installés. Cependant, de l'analyse des avantages et des inconvénients des différents types de filtres collectifs (voir annexe1) peut nous permettre le bon choix en se basant sur leur espace d'installation, leur prix de revient et le résultat de rentabilité obtenu au niveau de l'exploitation.

Finalement et conscient des problèmes de rareté des ressources naturelles en eau, le Maroc a opté dans ses stratégies d'avenir en matière d'agriculture moderne et d'économie d'eau au raisonnement de la reconversion de ses techniques d'irrigation vers l'utilisation du système d'irrigation localisé (le goutte à goutte), ce qui a engendré dans l'ensemble une optimisation de la consommation des eaux d'irrigation et l'obtention des rendements agricoles satisfaisants. L'élargissement de ce projet au maximum des périmètres irrigués est vivement souhaité.

ANNEXES :

ANNEXE 1 : Analyse du système d'irrigation proposer et procédé de filtration

ANNEXE 2 : Tableaux des résultats d'analyse.

ANNEXE 3 : carte général le long des canaux d'adduction jusqu'à la zone de distribution passant par la station de filtration

ANNEXE 1

A. Analyse du système d'irrigation proposé

1) goutte à goutte

Dans les pays à pluviométrie insuffisante ou irrégulière. L'eau est le principal facteur limitant la production agricole. Pour apporter de l'eau aux cultures agricoles, l'homme de tout temps a cherché à imiter la nature.

La nécessité de régulariser les rendements ainsi qu'un certain nombre de contraintes (rareté de l'eau, contrainte pédoclimatique etc ...) exigent le recours à l'irrigation et à la bonne gestion de l'eau.

Les systèmes les plus anciens utilisant les eaux des rivières ou des fleuves ont limité les débordements, l'irrigation par submersion, puis l'irrigation à la raie et en fin l'irrigation par aspersion, chaque système a ses inconvénients tant sur le plan technique que sur les plans économique et humain. La dernière technique est l'irrigation ponctuelle qui, par sa forme la plus fine et qualifiée de goutte à goutte, est une synthèse des méthodes précédentes en apportant des correctifs aux inconvénients techniques et humains tout en espérant des correctifs économiques ces dernières années.

Ces dernières années, cette technique d'irrigation a connu un plein succès et permet de cultiver les zones arides, elle économise l'eau, les engrais et l'énergie, elle facilite les travaux de culture et augmente les rendements.

↳ historique

Les premières recherches dans la création des systèmes d'irrigation à la goutte à goutte ont été réalisées au USA en 1918 à l'université du COLORADO, d'autres essais d'irriguer localement avec des tuyaux de drainage en poterie entre 1927 et 1930, connurent un échec aussi bien économique que technique. Ces échecs étaient dus aux causes suivantes :

- vérification difficile du bon fonctionnement du système
- obstruction des orifices par la racine et impuretés de l'eau.

↳ définition

L'irrigation au goutte à goutte est principalement une technique au moyen de laquelle eau et fertilisants peuvent être mis directement à la disposition de répartition maximale du système racinaire de la culture agricole grâce à des arroseurs conçus pour distribuer les faibles débits appropriés c'est-à-dire arroser peu et souvent à proximité des racines des plantes.

↳ description d'un réseau d'irrigation localisée

- Source d'eau : la source d'eau est soit une borne d'un réseau collective sous-pression, soit une station de pompage.
- Installation de tête : l'équipement de tête est chargé de mesurer ou de régulariser le débit ou la pression et d'améliorer la qualité physique de l'eau par filtration et par la qualité chimique par incorporation d'éléments fertilisants, l'installation comprend :

Unité de filtration

Injection d'engrais

Matériel divers (vanne d'arrêt, régulateur de pressions, limiteur de débit, compteur d'eau, conduits secondaire et tertiaires

- Tuyaux secondaire et tertiaire

Le réseau comporte autant de tuyaux secondaires qu'il y a de poste à l'aval de chaque vanne de répartition.

Ces tuyaux secondaires sont alimentés par la canalisation principale. Les tuyaux tertiaires sont alimentés par les tuyaux secondaires et sont disposés soit d'une cote, soit de part et d'autre de ces derniers.

- Rampes d'alimentation

Dans le plus part des cas, le système est permanent, et les rampes sont soit enterrées ou, le plus souvent posées au sol. De même, elles sont placées parallèlement entre les lignes de culture .

Leur diamètre varie entre 12 et 32 mm et l'espacement entre deux rampes dépend aussi bien de la culture que le débit délivré par le goutteur.

- Les goutteurs

Ce sont de petits dispositifs à faibles débits continus, places à intervalle régulier (0.2 à 2 mm) la longe de la canalisation en polyéthylène semi-rigide, d'écartement variable suivant la culture.

↳ LES AVANTAGES DE SYSTEME D'IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE

- économie d'eau

L'eau d'irrigation est mieux utilisée en irrigation goutte à goutte, que par toutes autre méthodes .l'eau étant transportée le long de tuyaux, on ne note pas de pertes par suintement. L'eau est distribuée de façon uniforme la longe des rangées de culture. Dans le cas de l'irrigation par gravite la dose reçues a l'amont du terrain est généralement différent de celle reçues à l'aval.

Le tableau ci-dessous présente les quantités d'eau utilisées par les différentes méthodes. Les auteurs notent qu'au champ, l'économie d'eau peut atteindre 50%, car les conditions étant loin moins favorable que celles de l'essai (petites parcelles, brise vent,...).

Tableau1 : quantité d'eau, utilisées par des méthodes différentes :

Méthode	Par gravité	Par aspersion	Au goutte à goutte
Dose d'irrigation	1068mm	930mm	722mm

- Meilleure réaction des cultures :

L'irrigation goutte à goutte ce caractérise par un arrosage très fréquent. La teneur en eau du sol est très élevée à proximité du goutteur. Elle est le germent supérieure a la capacité au champ (acceptée comme base d'autre méthode d'irrigation) mais inférieure à la saturation complète (GOLDBERG, SCHEMUELI, 1970).des condition favorable sont maintenues à la végétation et de plus, ces condition sont maintenues de manière continu.

Du point de vue climatologique, l'irrigation goutte à goutte présente un grand avantage certains dans le cas d'une évapotranspiration élevée (condition aride).elles est également avantageuse car elle permet une meilleure nutrition des plantes, et une possibilité d'utilisation des eaux plus salées.

Certaines précautions s'imposent lorsque l'on ajoute des engrais à l'eau salée. La concentration des sels peut parfois atteindre un taux alarmant pour certaines cultures particulières. Afin d'être du bon cote la fréquence et le taux d'application des engrais doit être adapté.

- Utilisation optimale des engrais :

Tout comme des autres méthodes, l'irrigation goutte à goutte rend possible la distribution des engrais dans l'eau d'irrigation. L'avantage de l'irrigation goutte à goutte réside cependant dans le fait que la totalité de l'engrais fourni est localisée au voisinage immédiat des racines, avec l'irrigation par gravité par contre l'engrais est plutôt localisée dans les rigoles.

La concentration des éléments nutritifs dans le sol au voisinage des plantes sera plus élevée dans le cas d'irrigation par goutte à goutte du fait que la quantité totale d'engrais sera localisée au voisinage immédiat des racines actives. Le niveau élevé d'humidité permanent dans la zone racinaire, crée en plus des conditions favorables de dissociation et d'activité ionique (F.A.O .1973)

- Réduction de la croissance des mauvaises herbes

Quand on irrigue, les interlignes restent secs et la croissance des mauvaises herbes est donc limitée par l'état de sécheresse du sol (bien remarquable dans des vergers). La population de ces plantes adventices n'empêche pas seulement la croissance de la culture en utilisant l'eau et les éléments nutritifs destinés à la culture, mais aussi la récolte mécanisée.

- Possibilité d'entreprendre des travaux agricoles :

Les écartements entre les plantes ou les arbres restent secs pendant tout le temps que dure l'irrigation goutte à goutte. Il est donc possible d'effectuer des travaux agricoles à l'aide d'engins motorisés (traitement foliaire, taille, etc...) ou des récoltes sans devoir arrêter le fonctionnement de la goutte à goutte. Ceci est plus remarquable sous des conditions arides ou semi arides que sous des conditions humides.

- Economie de main-d'œuvre :

L'installation de goutte à goutte fixe et le réseau couvrant tout le périmètre, il n'est plus nécessaire de changer les arroseurs, ou les tuyaux après chaque application. De même la commande d'ouverture et de fermeture des vannes est souvent réglée automatiquement.

Besoin en main d'œuvre.

Irrigation par gravité	1,5...2 ha/ouvrier, jour
Irrigation par aspersion	2,5...60 (automatisé) ha/ouvrier, jour
Irrigation goutte à goutte	40...60 (automatisé) ha/ouvrier, jour

↳ LES INCONVENIENTS DE SYSTEME D'IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE

- Obturation des goutteurs

La section de passage de l'eau au niveau d'un goutteur est nécessairement très petite (environ 1 mm). Ceci implique un danger d'obturation plusieurs facteurs peuvent en être la cause :

- une dégradation intérieure dans les réseaux anciens
- des éléments solides (ex : sable, ou matières colloïdales transportés par l'eau d'irrigation)
- des matières biologiques telles qu'algues ou excréments visqueuses de bactéries
- les eaux calcaires (risque d'obturation des goutteurs par dépôt)
- les eaux contenant du fer (obturation par précipitation ou développement des algues de fer.
- des engrais imparfaitement solubles.
- la présence de certains engrais (ex : ammoniac) peut augmenter le pH et donc accélérer la précipitation du CaCO_3 , d'autres tel que le phosphate peuvent se combiner avec le calcium ou le magnésium de l'eau et former des précipitations.

L'irrigation goutte à goutte nécessite donc l'utilisation d'eau parfaitement propre et pure, ce qui oblige à filtrer l'eau d'irrigation à l'aide d'un ou de plusieurs filtres. Plusieurs types filtres sont disponibles.

Une prévention du colmatage des goutteurs peut s'opérer en ouvrant régulièrement (toutes les deux ou trois semaines) toutes les extrémités des tuyaux des rampes d'alimentation pendant 5 à 10 minutes. Le débit suffit souvent à entraîner les dépôts de particules solides ou de calcaire qui se seraient formés à faible débit ou pendant un arrêt à température extérieure élevée (MAILIARD, 1973).

Un excès de pression est quelque fois pratiqué, mais il semblerait être inefficace et susceptible d'engendrer des dommages si l'obstruction résulte de dépôts calcaires (ROLAND, 1974). Selon un rapport de la F.A.O. (1973), ce traitement serait très efficace dans le cas d'obturation organique.

Les algues sont normalement éloignées par un traitement chimique suivi d'une filtration. Lorsque des dépôts calcaires obstruent les goutteurs au point qu'on ne puisse plus les déboucher ou on ne peut pas remplacer facilement les goutteurs, le lavage de l'installation est rendu possible grâce à une solution acide. On nettoie le

réseau pendant une dizaine de minutes avec cette solution (0,5 à 2 % de volume d'acide hydrochlorique (36%, F.A.o.1973).

Les goutteurs totalement obstrués résistent à ce traitement. Donc il est recommandé d'ajouter régulièrement de l'acide à l'eau avec une fréquence et une concentration modérées, à titre préventif quant on irrigue avec des eaux qui ont tendance à former des précipitations de carbonate de calcium.

Pour éviter la formation de dépôts d'engrais, il serait souhaitable de nettoyer le réseau à l'eau après la fertilisation et cependant 10 à 20 minutes, à l'eau propre.

Il existe des systèmes où les rampes se drainent automatiquement après chaque application d'eau. Ceci est fait pour éviter le développement des bactéries ou pour nettoyer les rampes. Au cours de ce processus une sous pression peut se développer dans la rampe et de la terre peut être aspirée dans les goutteurs. On doit donc éviter à ce que la sortie du goutteur soit en contact avec le sol.

Souvent l'obturation est due à l'association de matières colloïdales ou organiques et de sédiments au mucilage bactérien (ex : bactérie de fer).

- Coût du système :

Coût global de l'installation = Equipements + charges annuelles compte tenu de la main d'œuvre nécessaire à la mise en œuvre de l'installation.

Généralement le coût de l'installation varie selon :

- Le type de culture (maraîchages, verger...).
- Le type d'installation (automatisée ou non)

Problèmes divers

L'utilisation de l'eau saline provoque une accumulation de sels aussi bien à l'extrémité du bulbe humide qu'à la surface du sol. Un lessivage du sol s'impose donc avant l'implantation de la culture suivante.

Le stock d'eau est peu important du fait de la concentration de l'irrigation dans les zones radiculaires. Par conséquent les plantes souffriront de l'approvisionnement de l'eau (en cas de panne par exemple).

Il est absolument indispensable d'avoir des calculs hydrauliques ainsi qu'une installation précise. Les contrôles du fonctionnement du système exigent de bonnes qualifications de la personne chargée de cette tâche.

Conclusion

L'irrigation goutte à goutte est une d'irrigation qui exige des calculs hydrauliques précis et une installation méticuleuse sur les terrains. On peut s'attendre à une bonne réaction des cultures.

Dans les régions où les méthodes conventionnelles d'irrigation (irrigation par gravité, irrigation par aspersion) donnent des résultats suffisants, on peut s'attendre uniquement à une faible augmentation de la production avec le système goutte à goutte (en consommant moins d'eau). Sous ces conditions l'irrigation goutte à goutte qui est une méthode assez coûteuse, n'est souvent pas justifiée. Uniquement pour des vergers, le prix d'installation est à peu près le même que se lui d'une installation d'aspersion complète .pour d'autre culture elle est uniquement recommandée quand un ou plusieurs avantages (par exemple : économie de main d'œuvre) contre balancent les coûts supplémentaires, liés à cette méthode.

Dans des régions avec des terrains difficilement irrigable (sols à texture légère ou lourde, terrain en pente...) et/ou avec une mauvaise qualité d'eau, l'irrigation goutte à goutte pressante, si elle est calculée avec soin, des avantages bien nettes, si le coût d'une installation d'irrigation coûteuse est justifié, cette méthode d'irrigation est souvent justifiée, cette méthodes d'irrigation est souvent une bonne solution.

B. Procédés de filtration utilisés dans le traitement de la turbidité des eaux :

Généralement le problème de turbidité ne pose pas de problème au sein des eaux du canal T2 ses sont généralement limpide, contient rarement des particules très fine (limon, sable fine ...).

↳ Installation de station de filtration :

L'installation du station de filtration reste une obligation puisque il faut installer des filtres pour garantir le bon fonctionnement des réseaux goutte à goutte. les crues restent la première source de turbidité. La station de filtration permet d'arrêter les particules en suspension dans l'eau (sables limons, argiles, algues, bactéries, etc ...) pour éviter tout colmatage des goutteurs.

Cette station est toujours composée d'au moins deux filtres : le filtre principal et le filtre de sécurité. Elle est dimensionnée en fonction du débit disponible.

↳ Les types de filtre :

a) Filtre à sable :

Le filtre à sable se présente sous la forme d'une cuve cylindrique ou sphérique. Répartie par un diffuseur, l'eau traverse de haut en bas un lit constitué d'un sable spécialement calibré pour la filtration.

L'eau est récupérée en bas par les crépines et repart au bassin en repassant par la vanne multivoies.

Pour évacuer les débris accumulés dans le sable, on inverse le sens de circulation de l'eau. Cela permet de faire remonter les impuretés et de les envoyer vers l'égout. C'est ce qu'on appelle le contre-lavage (backwash).

Le sable répond à des caractéristiques précises et permet de retenir les impuretés de l'ordre de 30 à 40 microns. C'est la filtration la moins performante mais suffisante pour obtenir une eau limpide.

Il est possible d'augmenter la finesse de filtration en utilisant de la zéolite ou en flocculant l'eau. La contrepartie est un lavage plus fréquent du filtre.

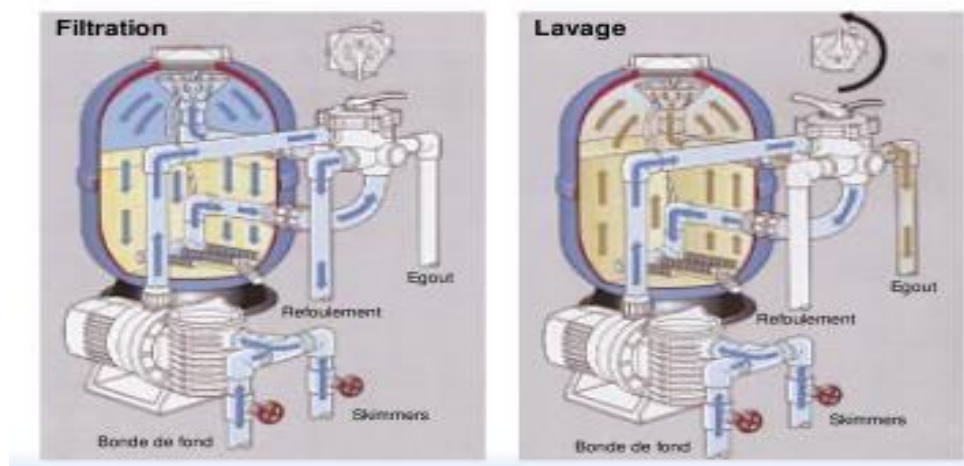


Fig.10 : fonctionnement de filtre a sable et leurs lavage

b) **Les filtres à tamis** : un cylindre constitué d'une toile filtrante en matière plastique ou en acier inoxydable est enfermé dans une cuve étanche. L'eau est filtrée en circulant de l'intérieur vers l'extérieur du cylindre. Comme pour le filtre à sable, l'automatisation du contre - lavage est réalisable par le réglage d'une horloge et/ou

grâce à un appareil (presso stat différentiel). Ce dernier déclenche le lavage dès qu'est détectée une différence programmée des pressions mesurées avant et après le filtre. Concernant les filtres à tamis et à disques, les mailles de filtration les plus courantes sont 100 microns et 130 microns. Pour des goutteurs à bas débit (moins de 2 l/h), il est préférable d'utiliser une filtration plus fine.

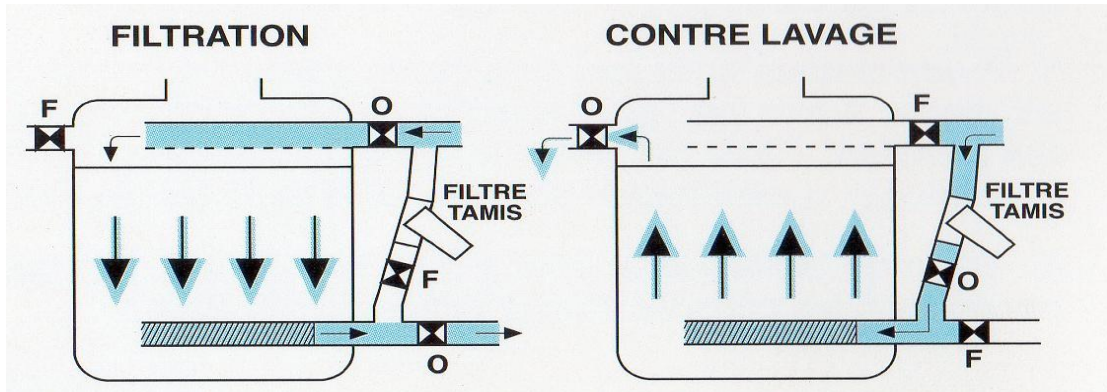


Fig.11 : fonctionnement de filtre a tamis et leur lavage

c) **Les filtres à disques** : l'élément filtrant est constitué d'un empilement de disques striés formant un cylindre, enfermé dans une cuve étanche en métal ou en plastique. La circulation se fait de l'extérieur vers l'intérieur, le nettoyage s'effectue en désolidarisant les disques.

Sixième chapitre : Analyse et critique de l'étude recommandée à l'office du Haouz :

A. traitement des eaux brutes :

L'avant projet détaillé du projet de reconversion de l'irrigation au secteur rive droite a confié à NOVEC (Bureau d'études à rabat), l'étude de la qualité des eaux d'irrigation du secteur du rive droite de Tessaout concerné par la reconversion au périmètre Tessaout aval .L'objectif de l'étude est de définir les processus de traitement adéquat des eaux du canal T2 alimentant le réseau d'irrigation du secteur précité, ainsi que l'établissement de la note d'orientation sur la pré-filtration et proposition des variantes de filtration concernant le secteur.

Le choix des ouvrages à prévoir pour améliorer la qualité des eaux du canal T2 doit être appréhendée sur la base des critères techniques et économiques.

Plusieurs types de décanteurs peuvent être utilisés, cependant ils doivent répondre aux exigences suivantes :

- Décantation efficace pour avoir une qualité convenable à l'irrigation ;
- Bonne capacité de concentration des boues ;
- Exploitation et entretien aisés ;
- Encombrement réduit de l'ouvrage ;

Depuis déjà de nombreuses années, des filtres plus élaborés ont été mis au point pour la pré-filtration des eaux très chargées et utilisées avec succès dans le monde entier dans de nombreuses installations. Ces appareils autorisent des résultats beaucoup plus élevés et de ce fait réduisent considérablement l'encombrement des ouvrages et le coût du génie civil correspondant.

B. Principe de fonctionnement du filtre tambour:

Le principe de fonctionnement d'un filtre à tambour est simple : le liquide à filtrer est déversé dans un tambour rotatif. Ce tambour est composé à sa périphérie, de solides plaques recouvertes de toile Inox. Les impuretés plus grosses que les perforations sont piégées contre la face intérieure des plaques filtrantes.

Le tambour tourne lentement (3 à 8 t/m, suivant modèle) et entraîne les impuretés hors de l'eau. Une rampe de rinçage située au sommet du tambour, nettoie alors les plaques pour évacuer les impuretés dans le canal de sortie des boues.

Les filtres sont conçus pour résister à toute corrosion, car ils sont entièrement construits en Inox 304 L ou en Inox 316 L pour les applications en eau agressive. Toutes les pièces des filtres ont été calculées et surdimensionnées. Les filtres à tambour comportent peu de pièces en mouvement grâce à leur système exclusif de rotation et suspension du tambour par courroies.

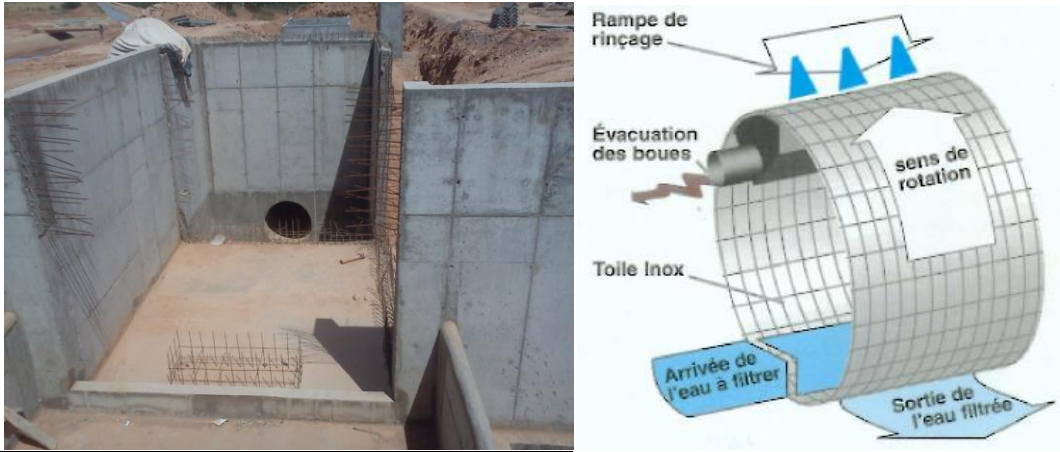


Fig12: Filtre tambour au cours de construction et mode de fonctionnement

C. Station de filtration :

Les filtre proposé sont des filtres a disque qui sont installé en parallèle et alimenté par un collecteur .le nombre de filtre nécessaire et détermination en fonction de :

a) Débit de dimensionnement

La station de filtration devra traiter le débit total brut correspondant au secteur en question .le débit de dimensionnement de la station de filtration dépend du :

- Débit nominale en tête des réseaux de distribution qui de l'ordre de 2576 l/s
- Qualité des eaux a filtré (bon, moyenne, ou basse qualité)
- Coefficient de sécurité

b) Qualité de l'eau a filtré :

Le nombre de filtre dépendent de la qualité de l'eau .il été considéré une qualité moyenne pour déterminé le débit maximale de chaque filtre

c) Surface filtrante :

La surface filtrante nette d'un élément de filtre est déduire a partir de la surface brute de filtre .elle est donné par le constructeur est d'environ 50 cm²par m³/h débit de filtre.

d) Coefficient de la sécurité :

Le coefficient de sécurité est un paramètre qui tient compte de l'obturation de la matière filtrant entre deux nettoyages. La majorité des fabrications recommande un coefficient de 30% pour une eau de qualité moyenne et jusqu'à 60% pour une eau très chargé .il comprend aussi le débit pour le contre lavage estimé a 5% du débit nominal.

➤ Type et nombre de filtre adopté :

Le type de filtre a disque a choisi devra répond aux critères suivant :

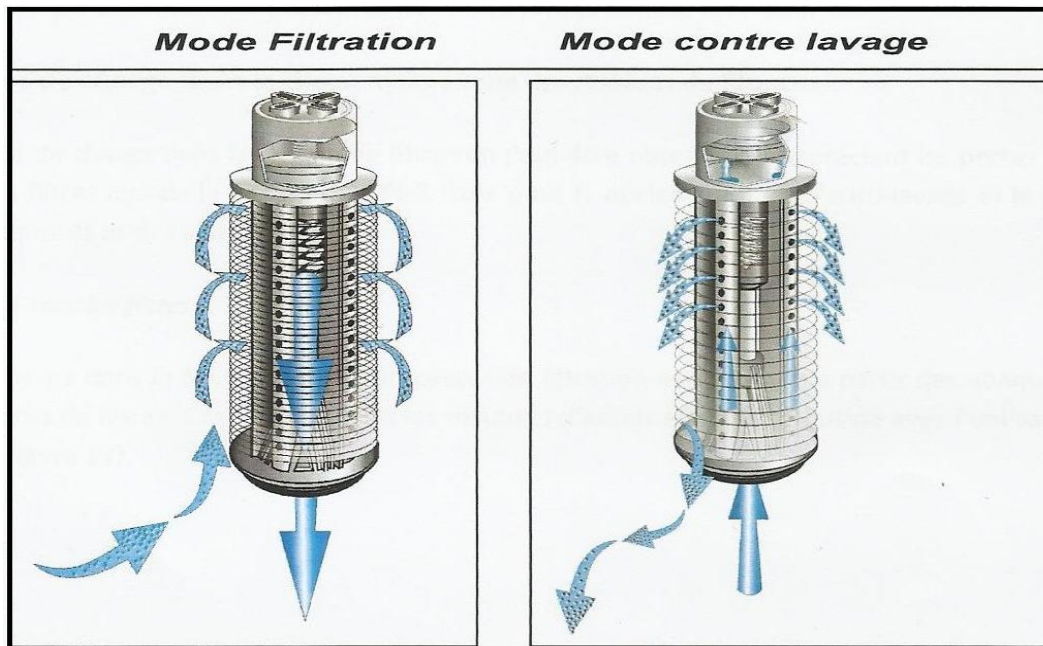


Fig.13 : le fonctionnement de filtres a disque.

- Haute fiabilité
- Espace d'encombrement réduit et construit simple
- Peu d'entretien
- Faible cout d'installation ;facile interconnexion entre électrique et hydraulique
- Possibilité d'extension
- Service après vente et disponible de pièces de recharge
- Garantie et durée de vie des composants des filtres

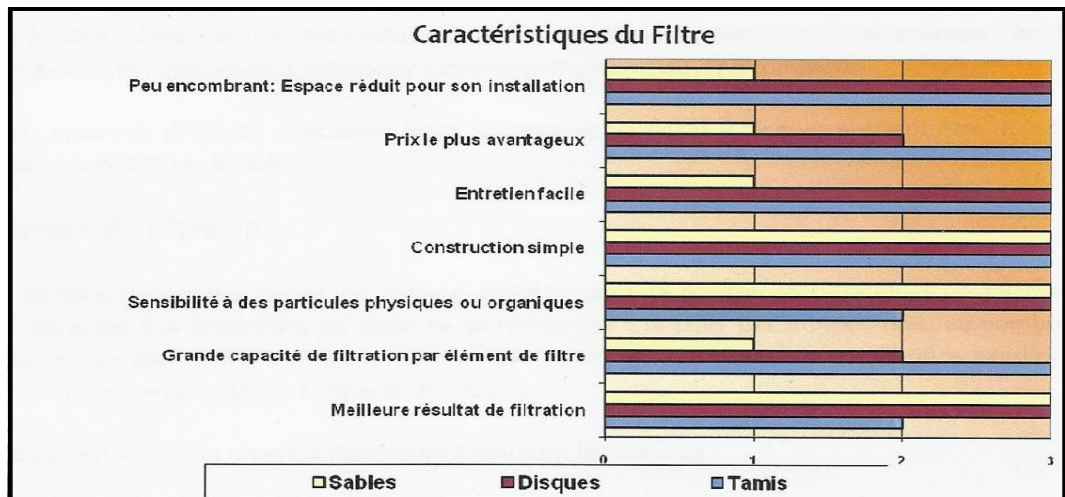


Fig.14 : les caractéristiques des filtres par type de filtration

D. Implantation de station de filtration :

Le fonctionnement des filtres requiert la disponibilité d'une pression de l'ordre de 1 bar pour le fonctionnement normal de filtre et 2,5 bars pour le contre lavage. Ces conditions sont satisfaites au niveau du départ de réseaux de distribution. En effet, une plateforme s'apprête convenable pour recevoir les dimensions de ladite station

L'emplacement de station est projeté environ 7,45 Km de la prise de tête sur le canal T2. Ainsi, les coordonnées de cet emplacement sont données comme suit :

X	Y
325 688	172949

ANNEXE 2:

Tableaux des résultats d'analyse.

Réf		1	2	3	4	des normes
Coordonné	X	32369648	32379092	32534776	32536890	
	Y	17144483	17032455	16766200	16745603	
<i>Nature d'eau</i>		<i>fin de A1</i>	<i>milieu de A1</i>	<i>depart de A1</i>	<i>canal T2</i>	
<i>température (°C)</i>		19	20,2	17,8	18,1	35
<i>turbidité NTU</i>		7,5	6,1	5,8	4,3	
K+	meq/l	0,08804604	0,10861084	0,10356992	0,09466967	
	mg/L	3,4426	4,246684	4,049584	3,701584	
Na+	meq/l	1,83452174	2,26691304	4,36604348	5,37126087	
	mg/L	95,143	122,929	82,913	85,339	69
Ca++	meq/l	1,5	1	0,7	1,1	
	mg/L	30	20	14	22	
Mg++	meq/l	1,5	0,9	1,6	1,4	
	mg/L	18,15	10,89	19,36	16,94	
Cl-	meq/l	1,25	1,5	2,5	2,75	
	mg/L	44,375	53,25	88,75	97,625	105
HCO3-	meq/l	1,5	1,6	1,5	1,4	
	mg/L	91,5	97,6	91,5	85,4	518
SO4--	meq/l	0,4	0,6	0,3	0,3	
	mg/L	19,2	28,8	14,4	14,4	250
Ph		6,7	6,3	6,6	6,5	6,5 à 8,4
CEà25°C	mmhos/cm	0,443105	0,44863	0,449735	0,44863	12
S. solub	mg/L	283,5872	287,1232	287,8304	287,1232	



ANNEXE2 : carte général le long des canaux d'adduction jusqu'à la zone de distribution passant par la station de filtration.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE:

- **ORMVAD A ,2012 :Le passage a l'errigation localisee collective ;les résultats d'une expérience dans le périmètre des Doukkala.rapport de capitalisation des acquis du projet pilote d'economie et de valorisation de l'eau d'irrigation dans le périmètre des Doukkala .**
- **NOVEC : Etude de la qualité des eaux d'irrigation des secteurs concernes par le projet de reconvention des systèmes d'irrigation existants a la l'irrigation localisée ;sous mission 2 :avant projet détaillé-station de filtration rive droit S1-3.**
- **L.Ouzine et M.H. Kharrou A ,2004 :Projet INCO-WADEMED ;Conception participative de projet d'irrigation dans le périmètre du Haouz .**
- **EL Boustani El mostafa :Gestion des système d'irrigation dans les périmetre irrigues DU HAOUZ ; Cas de tassaout amont .**
- **Aahd ABOURIDA ; thèse A,2007 :APPROCHE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE DU HAOUZ (MAROC)PAR TELEDETECTION .ISOTOPIE ,SEGET MODELISATION**
- **S .E.E.,2007 : Secrétariat d'état auprès du ministre de l'énergie ,des Mines ,de l'eau de l'environnement ,chargé de l'eau et de l'environnement ;Normes de Qualité des eaux destinées a l'irrigation.**
- **PNEEI :**
- **ORMVAH :SYSTEME DE REGULATION DU CANAL T2**
- **www.Sgg.gou.ma**